

نامو آلیاژ پی.وی.تی: حرکت به سمت سرمایه گذاری پایدار

مترجم

فاطمه شعبانی راد

نارش جین^۱، بنیان گذار نامو آلیاژ^۲، در ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۰ هنگامی که با همکار خود نیراج جین^۳ در دفترش چای می نوشید، گفت: «بزرگترین نگرانی من حفظ هدف تولید پایدار در مواجهه با تصمیم سرمایه گذاریمان است.» در حالی که از پنجره ای مشرف به مرکز صنعتی فریدآباد به بیرون خیره شده بود، بیان کرد: «ما نباید اشتباه دیگری مانند سرمایه گذاری سه سال پیشمان در سیستم احتراق گاز پروپان، مرتکب شویم. با انتخاب اشتباه بخش فناوری، نتوانستیم اهداف مورد انتظار را محقق کنیم.» او به همکار خود یادآوری نمود که شرکت هیچ وقت نسبت به انتخاب بخش فناوری حساس نبوده و هرگز از رویه استفاده از ابزارها و تکنیک های علمی در فرآیند تصمیم گیری خود پیروی نکرده است. او این بار می خواست نیراج شخصا بر انتخاب فناوری نظارت کند. نیراج متواضعانه خندید و از جا برخاست تا به دفتر خود بازگردد. او به این فکر می کرد که چگونه فناوری تولیدی را انتخاب نماید که بتواند همزمان اهداف امکان سنجی اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و منفعت اجتماعی را برآورده سازد. چگونه عوامل مؤثر در هر دسته را شناسایی نماید؟ و اگر قادر باشد چند عامل را شناسایی کند، چگونه می تواند آن عوامل را از نظر کمی اولویت بندی نماید؟ با خود فکر کرد: «با وجود بسیاری از عوامل متضاد، احتمالاً هرگز نمی توانم فناوری مناسب را انتخاب کنم.» اما رشته افکارش با زنگ تلفنش پاره شد.

نامو آلیاژ پی وی تی

نامو آلیاژ پی وی تی یکی از تولیدکنندگان پیشرو در هند در زمینه آلیاژ آلومینیوم به وسیله بازیافت ضایعات آلومینیوم بود که در سال ۱۹۹۲ توسط نارش جین و نیراج جین در فریدآباد دهلی در منطقه پایتخت ملی تأسیس شد. نیراج، فارغ التحصیل دانشگاه دهلی، قبلاً در تجارت فلزات به عنوان بخشی از تجارت خانوادگی خود در دهلی کار کرده بود. با اینکه تجارت را به خوبی انجام می داد، به تولید نیز علاقه داشت و در طول بازدید از کارخانه های خارج از کشور، همواره به دنبال این بود که از بهترین فناوری ها و شیوه های تولید در دسترس که توانایی سازگاری آنها برای استفاده در هند وجود داشت، بازدید کند. زمانی که برادرش نارش ایده راه اندازی کارخانه تولیدی را مطرح نمود، نیراج نه تنها از این ایده حمایت کرد، بلکه تمام وقت خود را به این پروژه اختصاص داد. او مسئولیت انتخاب فناوری برای کارخانه تولید آلیاژ آلومینیوم را به عهده گرفت.

در آن زمان صنعت خودروسازی هند به تازگی راه افتاده بود. ماروتی سوزوکی^۴ بزرگترین بازیگر در بخش خودروهای چهار چرخ، جایگاه خود در بازار را تثبیت کرده بود و تعداد دیگری خودروساز و موتورسیکلت ساز به تازگی به چرخه سرمایه گذاری وارد شده بودند یا قبلاً کارخانه هایی در هند راه اندازی کرده بودند. در این زمان هیرو هوندا^۵ بزرگترین تولید کننده

¹ Naresh Jain

² Namo Alloys Privete Limited

³ Neeraj Jain

⁴ Maruti-Suzuki

⁵ Hero-Honda

دو چرخ در جهان تاسیس شده بود. صنعت موتور هند از تولید ۴.۲ میلیون موتور در سال ۲۰۰۱/۰۲ به تولید ۱۰.۵۱۳ میلیون موتور در سال ۲۰۰۹/۱۰ رشد کرده بود. در سال ۲۰۰۹ رشد ۲۵ درصدی صنعت موتور نسبت به سال های قبل ثبت شده بود. سایر تولید کنندگان تجهیزات اصلی خودرو نیز در نظر داشتند کارخانه های جدیدی در هند راه اندازی کنند. کل واحد های خودرو (یعنی سازندگان دو، سه و چهار چرخ، وسایل نقلیه تجاری و تراکتور) ظرفیت تولید خود را افزایش دادند. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۹/۱۰، ۱۴.۰۵۷ میلیون دستگاه خودرو در سراسر هند تولید شد؛ در حالی که در سال ۲۰۰۱/۰۲ تنها ۵.۳۱۶ میلیون دستگاه تولید شد. وسعت صنعت در سال ۲۰۰۹/۱۰ تقریباً ۴۳۲۹۶ میلیون دلار آمریکا بود.

رشد تعداد تولیدکنندگان صنعت خودرو، به طور قابل ملاحظه ای تقاضا برای قطعه های آلومینیومی خودرو را افزایش داد. شکافی در عرضه و تقاضای آلیاژهای آلومینیوم به عنوان ماده اولیه برای تولید قطعات آلومینیومی خودرو به روش ریخته گری تحت فشار^۶، به وجود آمد. با افزایش ناگهانی تقاضا برای قطعات آلومینیومی خودرو، بسیاری کارخانه های تولیدی کوچک بدون سیستم مدیریت کیفیت رسمی راه اندازی شدند و شروع به تولید آلومینیوم از طریق بازیافت کردند. صنعت بازیافت آلومینیوم، هیچ مانع تجاری بزرگی نداشت و صنعت سرمایه بری نبود. یک شرکت برای کارخانه بازیافت با ظرفیت کم، فقط ۱۰۰ میلیون دلار سرمایه و ۵ تا ۷ ماه زمان نیاز داشت.

در طول سال ۲۰۰۹ نامو آلیاژ بیشتر از ۹۹۰۰ تن آلیاژ آلومینیوم تولید کرد. این شرکت از سال ۱۹۹۲ با تولید متوسط ۲۴۰۰ تن در سال، ۱۰ پرسنل، یک مشتری و دو نوع آلیاژ آلومینیوم، مسیری طولانی را طی کرده بود. در آن زمان کوره های خیلی کوچکی مورد استفاده قرار می گرفت. در ابتدا شرکت از ۸۵ درصد فلز خالص و ۱۵ درصد ضایعات استفاده می کرد. بعد از راه اندازی کارخانه، نیراج تجربه غنی خود در زمینه صنعت فلز را برای شروع زنجیره تامین شرکت به کار گرفت. در این زمان نامو آلیاژ بیشتر از ۹۵ درصد ضایعات را از اروپا و آمریکا وارد می کرد. از این رو نیراج فرصت داشت از تعدادی کارخانه بازیافت آلومینیوم در آمریکا، آلمان، ایتالیا، انگلیس و هلند بازدید داشته باشد. چشم انداز او راه اندازی یک شرکت با فناوری روز، برای رسیدن به نتایج اقتصادی خوب، ضمن حفاظت از محیط زیست و منفعت اجتماعی بود. تمرکز او بر این بود که فناوری چگونه می تواند باعث رونق اقتصادی شود و به بهتر شدن زندگی مردم کمک کند. او در آلمان و اروپا در زمینه مدیریت کارخانه آموزش دیده بود؛ بنابراین به خوبی از پیوند اهداف اقتصادی و زیست محیطی و استفاده شرکت های بازیافت اروپایی از فناوری، برای رسیدن به اهداف سه گانه آگاه بود.

در سال ۱۹۹۵ نامو آلیاژ یک کوره با ظرفیت ۱۰ تن نصب کرد که از نظر مصرف سوخت و بهره وری بسیار کارآمد بود. شرکت توانایی داشت که در سال، ۵ هزار تن آلیاژ تولید کند. نسبت ضایعات ۳۰ درصد افزایش و مصرف سوخت ۱۵ درصد کاهش یافت که نشان دهنده گامی بزرگ در جهت حفظ منابع بود. در سال ۲۰۰۴ شرکت بیشتر در کوره های با انرژی کارآمد و ظرفیت بالا سرمایه گذاری نمود. سپس ظرفیت تولید به ۱۵ هزار تن در سال افزایش یافت. در این زمان شرکت

⁶ die-cast

۱۴ نوع مختلف آلومینیوم تولید و تولیدات خود را به ۱۰ مشتری عرضه می کرد. شکل ۱ وضعیت مالی شرکت از تاریخ ۲۰۰۷/۰۸ تا ۲۰۰۹/۱۰ را نشان می دهد.

شکل ۱: خلاصه های منتخب وضعیت مالی نامو آلیاژ در سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹

سال	۲۰۰۷/۰۸	۲۰۰۸/۰۹	۲۰۰۹/۱۰
تولید آلومینیوم	۶۸۲۵.۶۴	۷۹۳۶.۸	۹۹۱۴.۹۳
فروش	۹۵۲.۲	۱۰۴۲.۱	۱۳۵۶.۰
مخارج سرمایه ای	۳۲.۲	۳۴.۶	۳۹.۵
سرمایه در گردش	۷۴.۸	۷۶.۲	۸۱.۳
هزینه سوخت در هر تن	۳۴۰۰.۰	۳۸۰۰.۰	۴۱۸۰

نگاهی اجمالی به صنعت

فلز آلومینیوم که مقادیر زیادی از آن در پوسته زمین وجود دارد، از سنگ معدن بوکسیت به دست می آید (۸ درصد جرم آن آلومینیوم است). آلومینیوم و فولاد دو فلزی هستند که معمولاً بیشتر استفاده می شوند و آلومینیوم معمولاً به دلیل ویژگی ها و خواصش، بعد از فولاد بیشترین استفاده جهانی را دارد. آلومینیوم به راحتی کشیده، نورد و قالب دهی می شود. چگالی آلومینیوم یک سوم فولاد است و برای کاربرد های نیازمند استقامت بالا و وزن کم بسیار مناسب است. صنعت خودروسازی به دلیل استفاده از آلومینیوم در بخش هایی از سر سیلندر، پیستون، رادیاتور، رینگ چرخ و بدنه اتوبوس و کامیون، یکی از بزرگترین مشتریان آلومینیوم است. بخش اصلی مصرف آلومینیوم برای حمل و نقل (۳۶ درصد)، ساخت و ساز و ساختمان سازی (۲۷ درصد)، بسته بندی (۱۶ درصد) و کاربرد الکتریکی و مهندسی (۱۴ درصد) می باشد.

آلومینیوم به جز در هادی های الکتریکی، به ندرت به شکل خالص استفاده می شود. معمولاً آلومینیوم با عناصر مختلف در مقادیر مختلفی ترکیب می شود تا استحکام مورد نیاز و سایر خواص مکانیکی لازم را به دست آورد. آلیاژهای سیلیکون آلومینیوم، گسترده ترین طیف آلیاژها را برای کاربرد در صنعت خودروسازی در بر می گیرند. همچنین آلومینیوم با منیزیم و مس برای کاربرد نورد و اکستروژن مانند ورق ها و کانال ها، ترکیب می شود.

تولید آلومینیوم هند در سال ۱۹۳۸ آغاز شد و شرکت آلومینیوم کورپوریشن آو ایندیا^۷، در نتیجه کمک های فنی و مالی آلکان کانادا راه اندازی شد. در طول سال های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۱ صنعت آلومینیوم هند توسط دولت هند کنترل و تنظیم می شد و رشد آن تقریباً ۶ درصد بود. در سال ۱۹۹۱ صنعت آلومینیوم آزاد شد و از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ شاهد رشد سالانه ۱۲ درصد بود. در سال ۲۰۰۶/۰۷ دولت هند هدف تولید سالانه ۰.۱۱۵ میلیون تن را تعیین کرد که در ۲۰۰۱/۰۸ و ۲۰۰۸/۰۹ به ترتیب، ۰.۱۲۳ و ۰.۱۳۵ میلیون تن افزایش یافت. تولید اولیه آلومینیوم از ۶۴۲۰۰۰ تن در ۲۰۰۱/۰۲ به

^۷ Aluminum Corporation of India

۱۲۵۰۰۰ تن در ۲۰۰۸/۲۰۰۷ افزایش یافت. تقاضای آلومینیوم در سال های ۲۰۰۶/۰۷ و ۲۰۰۷/۰۸ رشد سالانه ۸.۹ درصد را ثبت کرد. به دلیل سرمایه گذاری های سنگین در توزیع برق، ساخت و ساز و بخش خودروسازی، مصرف آلومینیوم به ازای هر نفر رشد کرد.

روند تولید

آلومینیوم به دو روش مختلف تولید می شود. استخراج از سنگ معدن (به عنوان مسیر اولیه شناخته می شود) که فلز اولیه یا بکر تولید می نماید و تولید فلز از محصولات که در پایان چرخه عمر خود قرار دارند (به عنوان مسیر ثانویه شناخته می شود) که فلز ثانویه تولید می نماید.

مسیر اولیه تولید

از سال ۱۸۹۳ آلومینیوم به روش دو مرحله ای که فرآیند بایر^۸ نامیده می شود، تولید می شود. در مرحله اول بوکسیت خرد شده و سپس با سدیم کربنات مخلوط می شود تا اکسید آلومینیوم حل شود. ناخالصی حل نشده با فرآیند فیلتراسیون حذف شده و محلول به آرامی آرام خنک می شود تا اکسید آلومینیوم به شکل کریستالی ایجاد شود. در مرحله بعد که فرآیند ذوب^۹ شناخته می شود، اکسید آلومینیوم در حمام نمک حل می شود. سپس یک جریان الکتریکی قوی از آن عبور داده می شود تا اکسید آلومینیوم به اکسیژن و آلومینیوم تقسیم شود. سپس آلومینیوم ذوب شده به دست آمده، به شکل شمش ریخته گری می شود. تقریباً ۱۵ هزار کیلووات ساعت انرژی و چهار تن بوکسیت برای تولید یک تن آلومینیوم نیاز است.

مسیر ثانویه تولید

آلومینیوم بعد از بازیافت مجدد، خواص متالورژیکی و فنی خود را از دست نمی دهد و در شرایط محیطی نرمال، اکسید نمی شود و به دفعات نامحدود می توان آن را بازیافت نمود. بیشتر از ۷۵ درصد از آلومینیوم تولید شده از سال ۱۹۰۵ هنوز در حال استفاده است.

صنعت تولید آلومینیوم ثانویه، یک صنعت جافتاده بود که تقریباً ۲۰ میلیون تن آلومینیوم بازیافتی را از ضایعات قدیمی تولید می کرد. در حالیکه ۴۰ میلیون تن آلومینیوم از طریق مسیر اولیه تولید می شدند. ضایعات قدیمی برای تولید آلیاژ آلومینیوم ثانویه بازیافت می شدند. یک فرآیند کلیدی، جداسازی بود که از طیف سنج ها و جداکننده های جریان گردابی^{۱۰}، به عنوان ابزار کلیدی تفکیک، استفاده می نمود. علاوه بر جداسازی دستی، جدایش واسطه سنگین^{۱۱} یک تکنیک مهم دیگر بود. تولید آلومینیوم ثانویه تنها به ۶ درصد انرژی (معادل ۹ تا ۱۰۰ کیلووات) در هر تن نیاز داشت و در مقایسه با

^۸ Bayer Process

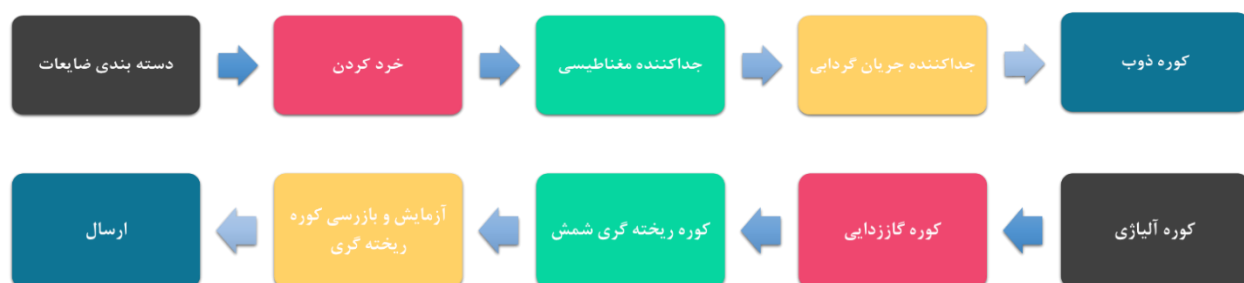
^۹ smelting process

^{۱۰} eddy current separators

^{۱۱} heavy media separation

تولید از مسیر اولیه، ۸ درصد آلاینده های جامد کمتری آزاد می نمود. شکل ۲ نشان دهنده فرآیند تولید آلومینیوم در نامو آلیاژ می باشد.

شکل ۲: فرایند تولید آلومینیوم در نامو آلیاژ



شرکت، زنجیره تامین حلقه بسته خوبی داشت. مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته به طراحی، بررسی و عملیات سیستم به منظور به حداکثر رساندن ارزش آفرینی در طول چرخه عمر محصول از طریق بازیابی پویای ارزش از انواع و مقادیر مختلف بازیافت اشاره دارد. فعالیت زنجیره تامین حلقه بسته فلز، شامل زنجیره تامین رو به جلو و جهت معکوس، به منظور در بر گرفتن بازیافت فلز و مواد صنعتی، استفاده مجدد از قطعات بعد از تعمیر و رسیدگی به محصولی که به پایان عمر مفید خود می رسد یا مشتری مرجوع می کند، می شود. این فرآیند از طریق استخراج مقادیر فلزی و دفع بقایا یا محصولات جانبی با کمترین تاثیر زیست محیطی، انجام می شود. مدیریت موفق زنجیره تامین حلقه بسته، به طور مثبت بر مزیت رقابتی تاثیر می گذارد زیرا حلقه بسته شامل فعالیت لجستیک^{۱۲} معکوس کارآمد، کاهش هزینه دفع زباله و حذف یا به حداقل رساندن اتلاف انرژی می شود. همچنین اجتناب از آسیب وارد کردن به طبیعت و محیط زیست ناشی از انتشار گاز گلخانه ای یا دفع زباله، یا به حداقل رساندن استفاده از مواد شیمیایی مضر در طول عملیات زنجیره ای را در بر می گیرد. بدین وسیله ایمنی کارکنان نیز افزایش می یابد.

مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته، مسائل زیادی را مطرح نمود که با مسائل مربوط به زنجیره های عرضه رو به جلو سنتی متفاوت بود. عمده مسائل خارجی، مربوط به کیفیت مواد بازگشتی، در دسترس بودن به موقع مواد، مدیریت کارآمد لجستیک معکوس و تصور مصرف کنندگان در مورد کیفیت محصولات بازیافتی بودند. یک مسئله داخلی کلیدی، استفاده کارآمد و موثر از منابع در تمام مراحل تولید، به منظور به دست آوردن مزیت هزینه ای ناشی از استفاده از محصولات بازیافتی در مقایسه با محصولات ساخته شده از منابع جدید بود. موضوع داخلی دیگر حفظ کنترل کیفیت دقیق محصولات تولیدی و ایجاد و حفظ تصویر سبز سازمان بود. نامو آلیاژ، شبکه و دفاتر خود را در خارج از کشور برای خرید ضایعات با

^{۱۲} به حرکت مواد، خدمات، پول و اطلاعات در داخل یک زنجیره تامین گفته می شود.

کیفیت داشت و قراردادی با خطوط کشتیرانی پیشرو برای تحویل مواد به بنادر هند، منعقد کرده بود. برای عملیات لجستیک از ارائه دهندگان تدارکات شخص ثالث^{۱۳} استفاده می نمود.

در کارخانه نامو آلیاژ مواد دریافتی براساس ترکیب شیمیایی مواد به درجات مختلف دسته بندی می شدند. این عملیات توسط جداکننده های ماهر و ماشین های نیمه خودکار انجام می شد. حجم مواد ورودی توسط کارکنان مجرب آماده می شد که می توانست استفاده از فلز خالص را به حداقل برساند یا کاملاً حذف کند. مواد در یک کوره ذوب به مذاب تبدیل می شد. بهره وری سوخت و حفاظت از فلز، در اولویت اول قرار داشت. فلز مذاب به یک کوره آلیاژی منتقل می شد که در آن ترکیب شیمیایی مورد نیاز توسط افزودن عنصر آلیاژ به دست می آمد. به هر دسته کد منحصر به فرد اختصاص می یافت و کیفیت با آزمایشات شیمیایی و متالورژیکی دقیق، مطابق با مشخصات تضمین می شد.

عملیات روزانه نامو آلیاژ توسط معاون عملیات کنترل و توسط روسای بخش های شرکت از جمله: تولید، کیفیت، زنجیره تامین، منابع انسانی، فناوری اطلاعات و حسابداری، پشتیبانی می شد. این بخش ها به نوبه خود در هر بخش توسط رهبر تیم پشتیبانی می شدند. به عنوان یک کارفرما در جهت فراهم آوردن فرصت برابر، شرکت تعداد قابل توجهی از کارمندان زن را در فروشگاه و محوطه اداری به کار گرفته بود. این شرکت به دلیل استفاده کارآمد و موثر از همه منابع، کنترل دقیق فرآیند تولید و دفع زباله و تعهد مدیریتی قوی به کارکنان و جامعه در کل، به عنوان شرکتی که ارزش های پایدار برای ذینفعان ایجاد می کرد، در نظر گرفته می شد.

برنامه توسعه

تقاضای زیاد آلومینیوم، منجر به افزایش تعداد تولیدکننده های آلیاژ در منطقه پایتخت ملی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ شد. اما کیفیت آلیاژهای تولیدشده توسط تولیدکننده های کوچک مسئله اصلی بود. از آنجایی که این عملیات های کوچک تر، کنترل اندکی بر فرآیند تولید داشتند و فاقد بازرسی مناسب در هنگام تفکیک ضایعات و ساخت آلیاژ بودند، شکایات در مورد کیفیت قطعات خودرو افزایش یافت. تعداد زیادی تصادفات منجر به فوت، به دلیل خرابی قطعات آلومینیومی گزارش شده بودند. با این حال آلیاژهای تولیدی توسط نامو آلیاژ استثنا بودند؛ محصولات این شرکت به دلیل کیفیت بالا و رقابتی بودن قیمت، تقاضای زیادی داشتند. اما تقاضای زیاد برای محصولات آن، مشکل جدی ایجاد کرد. نامو آلیاژ به دلیل ظرفیت تولید ناکافی در سطح کارخانه، نتوانست رهبری بازار خود را حفظ کند. از آنجایی که این شرکت توانایی پاسخگویی به تقاضای بازار را نداشت، بسیاری از مشتریان فعلی و بالقوه، شروع به تهیه مواد از سایر تولیدکنندگان آلیاژ کردند. این شرکت از فضای موجود خود به طور کامل استفاده می نمود و جایی برای کوره های جدید و گسترش بیشتر نداشت.

علاوه بر این با افزایش تولید، به فضای اضافی برای مدیریت موجودی در حال گسترش مواد خام، نیاز بود. نگرانی دیگر برای مدیریت، در دسترس بودن کارگران آموزش دیده برای کارکرد موثر و کارآمد با ماشین آلات جدید بود. چالش بزرگتر

¹³ Third-party logistics provider

این بود که هزینه های تولید را ثابت نگه دارند یا بهتر از آن، ۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش دهند. در نتیجه، شرکت می توانست هم به تعهدات خود در زمینه کارکنان و محیط زیست عمل نماید و همچنین از نظر هزینه رقابتی باقی بماند. این شرکت به دنبال فناوری ای بود که حداقل ۲۰ تا ۳۰ درصد زمان چرخه و هزینه های تولید را بدون به خطر انداختن هدف عملیاتی شرکت در حفظ منابع طبیعی، به حداقل رساندن تاثیرات زیست محیطی و تضمین ایمنی کارکنانش کاهش دهد.

مسئولیت انتخاب فناوری بدون به خطر انداختن هدف عملیاتی پایدار شرکت، به ان پی سینگ^{۱۴}، مدیر کل فناوری در نامو آلیاژ که بیشتر از ۲۰ سال دستیار نیراج بود، تفویض شد. مدیریت شرکت تصمیم گرفت فناوری جدید، اهداف اکولوژیکی-اجتماعی شرکت را صرف نظر از هزینه سرمایه گذاری برآورده کند. اگرچه، هزینه یک نگرانی عمده در هر فرآیند تصمیم گیری سرمایه گذاری بود. هزینه سرمایه گذاری فناوری های موجود، تفاوت قابل توجهی داشتند. به عنوان مثال، فناوری مشعل با سوخت اکسیژن^{۱۵} ۳۰ میلیون بود، در حالی که مشعل های احیا کننده و فناوری مشعل هوا^{۱۶} به ترتیب ۲۴ میلیون و ۱۸ میلیون هزینه داشتند. شکل ۳ هدف تولید پایدار در سرمایه گذاری را نشان می دهد.

شکل ۲: هدف تولید پایدار در تصمیم سرمایه گذاری نامو آلیاژ

۱	اهداف زیست محیطی	۲۰ درصد کاهش مصرف سوخت ۱۰ درصد حفظ منطقه دفن زباله ۸۸ الی ۹۲ درصد افزایش بازیابی فلز ۱۰ درصد کاهش انتشار گازهای مضر گنجاندن حداقل ۱۰ درصد مواد کم عیار در آلیاژها. این مواد در غیر این صورت به محل دفن زباله ختم می شوند. ۴۰ درصد صرفه جویی در زمین به ازای هر تن تولید
۲	سلامت و ایمنی کارکنان	تصادفات صفر قرار نگرفتن در معرض فرآیندهای خطرناک ۵۰ درصد جایگزینی مواد شیمیایی سمی
۳	اهداف اقتصادی	۲۰ درصد بهبود در بازگشت سرمایه ۲۵ درصد کاهش هزینه تولید ۱۵ درصد کاهش هزینه های سربار ۳۰ درصد بهبود بهره وری

¹⁴ N.p singh

¹⁵ oxy-fuel burner technology

¹⁶ regenerative burners and air burner technology

تحويل ۱۰۰ درصدی به پنج مشتری کلیدی ۵ درصد کاهش قیمت فروش کاهش ۱۵ درصدی کار در جریان پیشرفت ۲۰ درصد کاهش در زمان تحويل	زنجیره تامین	۴
کاهش ۱۰ درصدی زمان نصب ۱۵ درصد افزایش ظرفیت	انعطاف پذیری تولید	۵
حداقل ۱۰ سال سابقه فناوری انتقال دانش راحتی در استفاده سازگاری در شرایط کاری فعلی	رقابت فناوری	۶

بعد از ۶ ماه مطالعه کامل چندین فناوری، در نهایت سینگ سه فناوری زیر را برای انتخاب، در فهرست نهایی قرار داد.

مشعل هوا

مشعل های هوا چهار جنبه اساسی احتراق یعنی تامین سوخت، تامین هوا، فضای احتراق و تهویه هوا را پوشش می دهند. گازهای تولید شده بعد از احتراق در دمای بالا خارج میشوند. معشل های هوا ساده ترین وسایل احتراق هستند و کارایی پایینی دارند.

سیستم مشعل با سوخت اکسیژن

مشعل با سوخت اکسیژن به جای هوا با اکسیژن خالص کار می کنند. هوا دارای ۷۸ درصد نیتروژن است که به فرآیند احتراق کمک نمی کند. راندمان مشعل با سوخت اکسیژن بالاست زیرا نیازی به گرم کردن نیتروژن هوا ندارد. بنابراین، از نظر تئوری، رسیدن به دمای کارکرد کوره تنها به ۲۰ درصد انرژی مصرف شده توسط مشعل هوا نیاز دارد. سیستم مشعل با سوخت اکسیژن از مشعل های ویژه برای تسهیل استفاده از اکسیژن خالص به جای هوا، درجه های ویژه برای تنظیم جریان اکسیژن و یک شبکه لوله کشی استفاده می کند. از آنجایی که این سیستم هوا را گرم نمی کند، اکسیدهای نیتروژن تولید شده ناچیز هستند.

مشعل احیا کننده

مشعل های احیا کننده به صورت جفت طراحی شده اند تا با استفاده از مقدار گرمای معقول گازهای خروجی، با پیش گرم کردن هوای احتراق تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد، راندمان سوخت کوره ها را افزایش دهند. توپ های سرامیکی (یعنی واسطه ها) گرما را از گاز های خروجی استخراج می کنند و خود به خود گرم می شوند. پس از اینکه واسطه تا دمای از

پیش تعریف شده گرم شد، چرخه گرمایش معکوس میشود. هوای احتراق روی محیط گرم شده دمیده می شود، که گرما را از واسطه ای که قبلاً گرم شده است، استخراج می کند. در طی فرآیند تبادل حرارت، هوای احتراق گرم می شود. هنگامی که این هوای از پیش گرم شده برای فرآیند احتراق (به جای هوا در دمای محیط) مورد استفاده قرار می گیرد، نیاز سوخت برای احتراق به طور قابل توجهی کاهش می یابد. همچنین دمای خروجی هوای اضافی که معمولاً بسیار زیاد است (۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد) به ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتیگراد کاهش می یابد. بنابراین انرژی کمتری از طریق گازهای خروجی از دست می رود.

معیارهای تصمیم گیری

نیراج باید نوعی از فناوری را انتخاب می کرد که به طور کامل معیارها را برآورده می نمود. مهمترین معیارهای انتخاب فناوری عبارت بودند از: فناوری تولیدی که برای سلامتی کارکنان ایمن باشد، حفظ منابع طبیعی، حداقل تأثیرات زیست محیطی، کاهش هزینه های عملیاتی و انعطاف عملیاتی. هر فناوری محاسن خاص خود را داشت و اهداف اساسی را به درجات مختلف برآورده می نمود. برای مثال یک فناوری از نظر به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی بسیار قوی بود، در حالی که دیگری از نظر صرفه اقتصادی جذاب بود. نیراج می دانست که سه سال قبل، شرکت با سرمایه گذاری در سیستم احتراق گاز پروپان، متحمل زیان های سنگین شده بود. این فناوری به اهداف مورد انتظار منتهی نشده بود و پروژه پس از شش ماه عملیات لغو شد. نیراج می دانست در انتخاب فناوری درست، باید هوشیار و محتاط تر عمل کند.

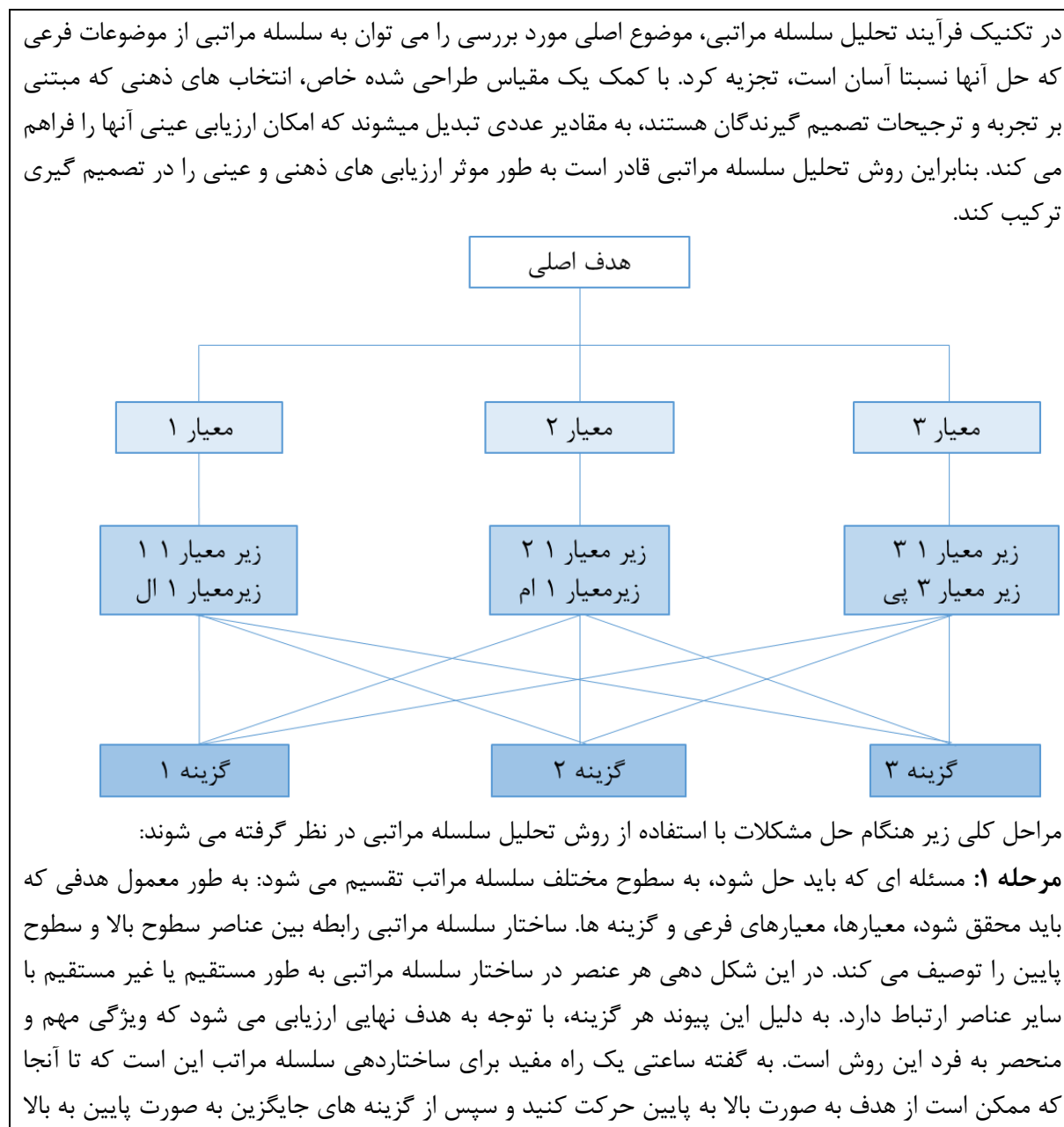
نیراج آگاه بود روش ها و تکنیک های مختلف برای ارزیابی و انتخاب فناوری را می توان به طور کلی در پنج حوزه طبقه بندی کرد: (الف) مدل های اقتصادی (نرخ بازده داخلی، ارزش فعلی خالص و غیره)، (ب) برنامه ریزی ریاضی (برنامه ریزی خطی)، (ج) تجزیه و تحلیل تصمیم (روش شناسی درخت تصمیم)، (د) روش های تعاملی (تکنیک های دلفی، طوفان فکری، و غیره) و (ه) بهینه سازی پورتفوی. با این حال، نیراج بیشتر به تکنیکی علاقه مند بود که اجازه می داد چندین معیار به طور همزمان در فرآیند تصمیم گیری مورد استفاده قرار گیرند. مزایای تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) این است که با مسائل همانگونه که ظاهر می شوند، مواجه می شود و طیف وسیعی از فرایندها (یا الگوریتم ها) را برای روشن کردن پیامدهای سبک سنگین های اساسی، بین هر معیار برای راه حل های جایگزین به کار می گیرد.

نیراج با توجه به تجربیات گذشته و استفاده از برنامه های آموزشی مختلف، نسبت به یک تکنیک تصمیم گیری چند معیاره، به نام فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) آگاهی داشت که از تصمیم گیری، زمانی که گزینه های در نظر گرفته شده شامل عناصر متضاد، مانند ملاحظات اقتصادی و استانداردهای اجتماعی باشند، پشتیبانی می کرد. روش تحلیل سلسله مراتبی، توسط توماس ال ساعتی^{۱۷} در دهه ۱۹۷۰ معرفی شد و به دلیل توانایی آن برای گنجاندن موارد ملموس (مانند نرخ بازده داخلی، بازده سرمایه گذاری و ارزش افزوده اقتصادی) و نیز موارد نامشهود

¹⁷ Thomas I saaty

مانند (رفتار انسانی و رضایت کارکنان) در فرآیند تصمیم گیری، محبوبیت پیدا کرد. به دلیل توانایی آن در ترکیب عوامل ذهنی و عینی، روش تحلیل سلسله مراتبی به طور گسترده توسط مدیران عملیاتی پذیرفته شده است. حوزه های وسیع کاربرد تحلیل سلسله مراتبی در صنعت، شامل تصمیمات استراتژیک مانند انتخاب فناوری های ساخت پیشرفته، تخصیص کارآمد منابع، مهندسی مجدد فرآیند کسب و کار، فناوری نمونه سازی سریع، فرآیندهای ره نگاری، ملاحظات مراقبت های بهداشتی و محک زنی می باشد. فرآیند و روش تحلیل سلسله مراتبی در شکل ۴ توضیح داده شده است.

شکل ۴: روش شناسی فرایند تحلیل سلسله مراتبی



حرکت نمایید تا زمانی که سطوح دو فرآیند به گونه ای به هم مرتبط شوند که مقایسه ممکن شود. شکل بالا ساختار سلسله مراتب کلی را نشان می دهد.

مرحله ۲: نظرات کارشناسان و تصمیم گیرندگان، مورد پرسش قرار می گیرد و داده های ذهنی و عینی که با ساختار مسئله مطابقت دارند، در قالب مقایسه زوجی گزینه های مختلف با استفاده از مقیاس خاص طراحی شده است، جمع آوری می شود. گزینه ها را میتوان بر اساس دسته های ترجیحی مختلف از اولویت یکسان تا بسیار ارجح رتبه بندی کرد. جدول زیر را ببینید؛ مقایسه ها برای هر معیار انجام شده و مطابق جدول زیر به اعداد کمی تبدیل می شود.

مقیاس	رتبه بندی عددی	متقابل
به شدت ارجح است	۹	۹/۱
بسیار ارجح است	۷	۷/۱
ارجح است	۵	۵/۱
نسبتاً ارجح است	۳	۳/۱
به همان اندازه ارجح است	۱	۱/۱

مرحله ۳: مقادیر به دست آمده در مرحله قبل در یک ماتریس $N \times N$ مرتب می شوند. عناصر قطر ماتریس ۱ هستند. اگر مقدار عنصر (k, j) بزرگتر از ۱ باشد، معیار ردیف k ارجح تر از معیار ستون j است. در غیر این صورت، معیار ستون j ارجح تر از معیار ردیف k رتبه بندی می شود. عنصر (j, k) در ماتریس مقدار متقابل عنصر (k, j) است.

مرحله ۴: مقدار ویژه اصلی و بردار ویژه نرمال شده مربوط به ماتریس مقایسه، اهمیت نسبی معیارهای مقایسه شده را ارائه می دهد. عناصر بردارهای ویژه نرمال شده با توجه به معیارها یا زیرمعیارها، وزن نامیده می شوند.

مرحله ۵: سازگاری ماتریس مرتبه n توسط شاخص سازگاری (CI) ارزیابی می شود که به صورت محاسبه می شود.

$$CI = (\lambda \max - n) / (n - 1)$$

$\lambda \max$ حداکثر مقدار ویژه ماتریس مقایسه است.

این CI را می توان با CI یک ماتریس تصادفی (PI) مقایسه کرد. CI/PI نسبت سازگاری (CR) نامیده می شود. مقدار RI مطابق جدول زیر ثابت شده است.

N	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰.۵۸	۰.۹	۱.۱۲	۱.۲۴	۱.۳۲	۱.۴۱	۱.۴۵	۱.۴۹

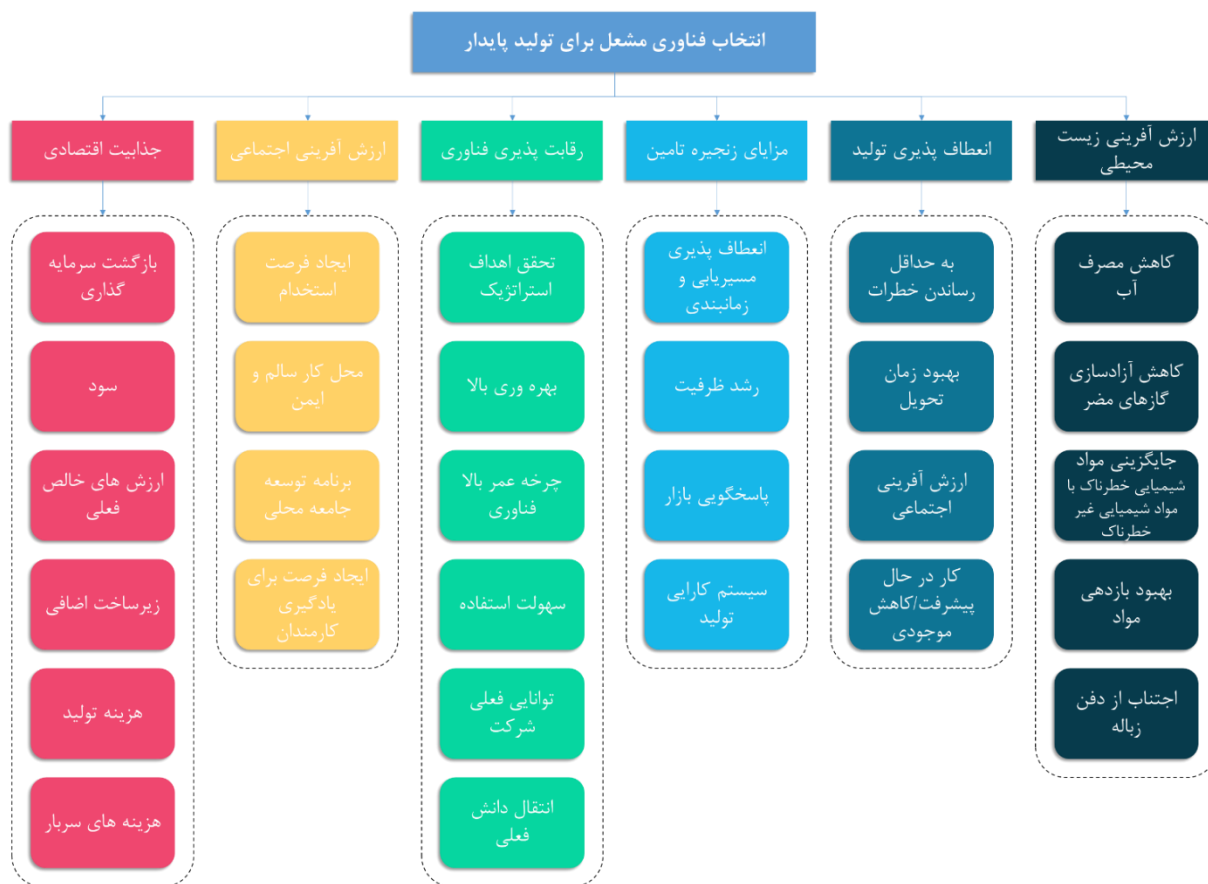
مرحله ۶: مقدار وزن هر معیار در وزن زیرمعیارهای آن ضرب می شود. سپس برای هر گزینه، ارزیابی انجام شده در وزن زیرمعیارها ضرب می شود. در نهایت مقادیر به دست آمده برای هر گزینه جمع می شود. گزینه ها بر مبنای نتیجه به دست آمده رتبه بندی می شوند.

توسعه مدل برای انتخاب فناوری

به عنوان اولین قدم برای دستیابی به هدف تولید پایدار سازمان، نیراج ادبیات مربوطه در مورد تولید پایدار و انتخاب شاخص فناوری را به طور کامل بررسی کرد. او سپس ۱۷ عامل تعیین کننده را برای تصمیمات تحلیل سلسله مراتب چندمعیاره انتخاب نمود. اجرای موفق تحلیل سلسله مراتبی به مشاوره و مشارکت فعال متخصصان خوب نیاز داشت که به خوبی در حوزه تصمیمات خاص و تحلیل سلسله مراتبی آگاه باشند. از این رو قبل از جمع آوری هرگونه داده، نیراج یک کارگاه خاص برای مدیران با هدف توضیح رویکرد روش شناختی و سازماندهی معیارها و معیارهای فرعی در قالب پیشنهادی ترتیب داد. متخصصان خارجی از صنعت و دانشگاه در طی فرآیند مدل سازی برای آموزش و راهنمایی درگیر بودند.

این کارگاه ۱۶ متخصص از صنعت و دانشگاه را گرد هم آورد که در رشته های مختلف از جمله تولید پایدار، حقوق و محیط زیست، تولید، امور مالی، زنجیره تامین، منابع انسانی و اتحادیه کارگران فعالیت می کردند. از آنجا که اعضای این گروه تجربیات گسترده ای داشتند، آنها می توانستند با شکستن مشکلات در سطوح مختلف، مسئله پیچیده را بسیار ساده کنند. بحث گروهی و جلسات طوفان فکری برای به دست آوردن اجماع متخصصان، به منظور تعریف مشخصات مدل و مقایسه زوجی معیارها برگزار شد. در طی جلسه، ۶ معیار اصلی و ۳۹ معیار فرعی نهایی شدند که همه آنها برای سازمان مهم تلقی می شدند. در پایان جلسه گروه توانست موضوع را در دسته هایی سازماندهی کند و در مورد اولویت بندی مسائل عینی به اجماع برسند. اگرچه بیشتر آراء بر اجماع مبتنی بود، اما تصمیم گرفته شد هنگامی که نمی توان به اجماع رسید، از میانگین آراء استفاده شود. شکل ۵ مدلی را نشان می دهد که در جلسه تصویب شد.

شکل ۵: سلسله مراتب معیارهای انتخاب فناوری



در تاریخ ۲۰ سپتامبر ۲۰۱۰ نیراج برای ارزیابی نتیجه کارگاه به ملاقات همکار خود، نارش جین رفت. نارش برای اولین بار به استفاده از ابزارها و تکنیک های علمی در انتخاب مشعل، شک داشت. خرابی سیستم احتراق گاز سه سال قبل ضرر بزرگی تحمیل کرده بود و باعث شده بود که نارش مسئولیت انتخاب مشعل را به کسی جز نیراج نسپارد. اگرچه تمام سطوح مدل سلسله مراتبی تنظیم شده بودند، نیراج آگاه بود که مهمترین وظیفه تعیین هدف نهایی است. تعیین معیارهای خاص مورد ارزیابی و وزن دهی آنها، با توجه به هدف نهایی انجام می شود. او این فرآیند را با محاسبه وزن معیار های انتخاب فناوری که توسط تصمیم گیرندگان شرکت تعیین شده بود، آغاز کرد. نیراج با کمک حداقل ۱۶ کارشناس صنعت، توانست به معیارهای مختلف انتخاب فناوری، وزن نسبی اختصاص دهد. شکل های ۶ و ۷ وزن های نسبی را نشان می دهند که به انتخاب فناوری اختصاص داده بودند.

نیراج متوجه شد قبل از هرگونه بحث بیشتر با نارش، باید کمی تصمیمات سرمایه گذاری را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهد. او همه اطلاعاتی را که برای تحلیل استفاده می کرد در اکسل کامپیوتر خود کپی نمود.

شکل ۶: وزن های نسبی که در انتخاب تکنولوژی به کار می روند

الف) عوامل انتخاب فناوری

رقابت پذیری فناوری	انعطاف پذیری تولید	مزیت زنجیره تامین	ارزش آفرینی زیست محیطی	ارزش آفرینی اجتماعی	ارزش آفرینی اقتصادی	
۳	۳	۳	۰.۳۳۳	۰.۳۳۳	۱	ارزش آفرینی اقتصادی
۷	۵	۵	۲	۱		ارزش آفرینی اجتماعی
۵	۵	۵	۱			ارزش آفرینی زیست محیطی
۳	۱	۱				مزیت زنجیره تامین
۵	۱					انعطاف پذیری تولید
۱						رقابت پذیری فناوری

ب) ارزش آفرینی اقتصادی

هزینه های سربار	امکانات فیزیکی اضافی	سود	بازدهی سرمایه	ارزش خالص فعلی	
۳	۳	۰.۳۳۳	۰.۲۰۰	۱	ارزش خالص فعلی
۹	۸	۲	۱		بازدهی سرمایه
۲	۲	۱			سود
۲	۱				امکانات فیزیکی اضافی
۱					هزینه های سربار

پ) ارزش آفرینی اجتماعی

فرصت یادگیری	فرصت ایجاد اشتغال	توسعه جامعه محلی	سلامت و امنیت	
۲	۳	۵	۱	سلامت و امنیت
۰.۲۰۰	۰.۵۰۰	۱		توسعه جامعه محلی
۰.۳۳۳	۱			فرصت ایجاد اشتغال
۱				فرصت یادگیری

(د) ارزش آفرینی زیست محیطی

بهبود بازدهی مواد	اجتناب از دفن زباله	انتشار گازهای مضر	جایگزینی مواد شیمیایی مضر	کاهش مصرف آب	
۱	۰.۳۳۳	۰.۵۰۰	۰.۱۶۷	۲	بهبود بازدهی مواد
	۱	۲	۰.۵۰۰	۴	اجتناب از دفن زباله
		۱	۰.۳۳۳	۳	انتشار گازهای مضر
			۱	۷	جایگزینی مواد شیمیایی مضر
				۱	کاهش مصرف آب

(ج) زنجیره تامین

کاهش خطرات زنجیره تامین	کیفیت محصول	کاهش موجودی	بهبود زمان تحویل	
۱	۳	۲	۱	کاهش خطرات زنجیره تامین
	۱	۲	۱	کیفیت محصول
		۱	۰.۲۰۰	کاهش موجودی
			۱	بهبود زمان تحویل

(ح) رقابت پذیری فناوری

هدف استراتژیک	چرخه عمر فناوری	بهره وری بالا	سهولت استفاده	انتقال دانش	توانایی فعلی	
۱	۲	۳	۶	۶	۵	هدف استراتژیک
	۱	۳	۶	۶	۵	چرخه عمر فناوری
		۱	۴	۴	۳	بهره وری بالا
			۱	۲	۰.۵۰۰	سهولت استفاده
				۱	۰.۲۵۰	انتقال دانش
					۱	توانایی فعلی

(ت) انعطاف پذیری تولید

پاسخگویی بازار	ظرفیت	مسیریابی رشد و زمان بندی انعطاف	کارایی سیستم تولید
پاسخگویی بازار	۱	۰.۳۳۳	۵
ظرفیت		۱	۵
مسیریابی رشد و زمان بندی انعطاف			۱
کارایی سیستم تولید			۰.۲۰۰
			۱

شکل ۷: وزن های نسبی برای فناوری ها براساس شش معیار

ارزش آفرینی اقتصادی	ارزش آفرینی اجتماعی	ارزش آفرینی اجتماعی	زنجیره تامین	رقابت فناوری	انعطاف پذیری تولید
مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی
مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده
مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا
۱	۲/۱	۹/۱	۱	۵	۲
مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی
مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده
مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا
۱	۱	۱	۱	۳	۲/۱
مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی	مشعل سوخت اکسی
مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده	مشعل احیا کننده
مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا	مشعل هوا
۱	۱	۱	۱	۱	۱