فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، ویژه‌نامه شماره ۶۶، بهار ۱۳۹۲، ۱۲۷ - ۹۵

ارائه مدلی برای سنجش موفقیت سازمان‌ها در مدیریت زنجیره تأمین سبز با رویکرد انتخاب تأمین‌کننده سبز (مورد: شرکت فولاد آلیاژی ایران)

دکتر سید علی اکبر احمدی* محمد علی افشاری**
حمیده شکاری***

دریافت: ۹۰/۱/۲۳ پذیرش: ۹۰/۱۲/۸

مدیریت زنجیره تأمین سبز / فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) / تئوری روابط خاکستری (GRA) / تحلیل عاملی

چکیده

افزایش نگرانی‌ها در مورد هشدارهای محیطی، تولیدکننده‌ها را مجبور به تلاش برای کاربرد راه‌کارهایی در زمینه مدیریت محیطی نموده است. رویکرد مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌عنوان یک دیدگاه جامع مدیریت محیطی که همه جریانات از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و در نهایت به مصرف‌کنندگان را در بر می‌گیرد، مورد توجه زیادی قرار گرفته است. مسئله اصلی این تحقیق شناسایی شاخص‌های اصلی مدیریت زنجیره تأمین سبز و ارائه مدلی در این راستا و در نهایت انتخاب بهترین تأمین‌کننده از دید ملاحظات زیست‌محیطی می‌باشد. این تحقیق در دو فاز متفاوت انجام گرفته است؛ در مرحله نخست،

---

*. دانشیار دانشگاه پیام نور، گروه مدیریت. a_ahmadi@pnu.ac.ir
**. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه کار، قزوین. mohamadaliafshari@yahoo.com
***. عضو هیأت علمی دانشگاه پیام نور مرکز تفت. l_shekari60@yahoo.com
■ حمیده شکاری، مسئول مکاتبات.

شاخص‌های زنجیره تأمین سبز با مطالعه متون علمی و کسب نظر خبرگان صنعت استخراج شده (۳۴ شاخص) و مبنای تهیه پرسش‌نامه قرار گرفته است. پس از جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل عاملی، مدلی شش عاملی (شامل مؤلفه‌های مدیریت محیطی داخلی، خرید سبز، تولید پاک، بازفراوری، طراحی محیطی و آلایندگی) جهت سنجش مدیریت زنجیره تأمین سبز تدوین شده است. در مرحله دوم، با توجه به مؤلفه‌های استخراجی، برای انتخاب تأمین‌کنندگان شرکت مورد مطالعه، از ترکیب دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تئوری روابط خاکستری استفاده گردیده است.

طبقه‌بندی JEL: C3, C13, Q56

مقدمه

فعالیت‌های اقتصادی اعم از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خدماتی از یک‌سو از منابع طبیعی استفاده می‌کنند و به آن‌ها وابستگی دارند و از سوی دیگر، ماهیت فرآیند آن‌ها به‌گونه‌ای است که به‌طور بالقوه محیط زیست را آلوده می‌کنند. بنابراین چنانچه به پیامدها و مسائل زیست‌محیطی انجام این گونه فعالیت‌ها توجه نشود، باید هزینه‌های کلانی برای رفع خسارت و ضایعات ناشی از عدم توجه به این موضوع صرف شود. افزایش هزینه‌های ناشی از آسیب‌های زیست‌محیطی، افزایش دانش و آگاهی و نگرانی شرکت‌ها در مورد اثرات سوء فعالیت‌های اقتصادی برروی منابع طبیعی و به‌تبع آن بدتر شدن کیفیت زندگی، این شرکت‌ها را بر آن داشته است که در راه‌کارهای رشد و توسعه اقتصادی خود بازنگری داشته باشند[1].

افزایش نگرانی‌ها در مورد هشدارهای محیطی، تولیدکننده‌ها را مجبور به تلاش برای کاربرد راه‌کارهایی در زمینه مدیریت محیطی نموده است. دیدگاه‌هایی نظیر مدیریت زنجیره تأمین سبز[2]، بهره‌وری سبز، تولید پاک‌تر و سیستم‌های مدیریت محیطی برای فعالیت‌های مدیریت سبز به‌کار گرفته شده‌اند[3]. در این میان، از آنجا که اثرات نامطلوب محیطی در همه مراحل چرخه عمر محصول اتفاق می‌افتد و مدیریت برنامه‌ها و عملیات محیطی به داخل مرزهای سازمان محدود نمی‌شود، دیدگاه مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌عنوان دیدگاهی جامع که همه جریانات از تأمین‌کنندگان به تولیدکنندگان و در نهایت به مصرف‌کنندگان را در بر می‌گیرد، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است[4]. از آنجا که مؤلفه‌شناسی مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت فولاد ایران تاکنون صورت نگرفته است در این تحقیق برآنیم تا ضمن مؤلفه‌شناسی، مدلی جهت سنجش مدیریت زنجیره تأمین سبز ارائه دهیم.

---

1. Huang, 2001.
2. Green Supply Chain Management (GSCM).
3. Zhu et al., 2008a, p:1.
4. Zhu et al., 2008b, p: 578.

مدیریت زنجیره تأمین، یک فلسفه جامع برای اداره جریان کانال‌های توزیع از عرضه‌کننده تا مصرف‌کننده می‌باشد. مدیریت زنجیره عرضه، یک وسیله جهت مبادله مستمر اطلاعات و به‌سازی عملکرد سازمان‌ها فراهم می‌کند. مدیریت زنجیره تأمین به سازمان‌ها کمک خواهد کرد که دانش فنی به‌دست آورند و از دیگران در جهت بهبود کیفیت محیط‌زیستشان یاری جویند. هم‌افزایی رعایت ملاحظات زیست‌محیطی و مدیریت زنجیره تأمین فرصتی را برای سازمان‌ها فراهم می‌کند تا بهره‌وری، کیفیت و عملکرد محیطی خود را از طریق جریان پیوسته اطلاعات ارتقا دهند. رعایت ملاحظات زیست‌محیطی در ترکیب با مدیریت زنجیره تأمین یک موقعیت برنده- برنده برای سازمان‌ها ایجاد می‌کند و به آن‌ها در به‌وجود آمدن یک مزیت قوی در بازار جهانی (از طریق کاهش هزینه و بهبود در رقابت) کمک می‌کند[1].

سبزکردن زنجیره تأمین فرصتی است برای کسانی که نگران موضوعات مصرف پایدار و عملکردهای تجاری محیطی‌اند. از دید کلان، توجه به مسائل سبز، هم به‌عنوان مکانیسمی برای افزایش توانایی در طراحی محصولات سبز و هم به‌عنوان وسیله‌ای برای ایجاد بازارهایی برای محصولات سبز سازگار با محیط، مهم است. سبزکردن زنجیره تأمین نیازمند ورودی‌های جدیدی است که سبب ایجاد فرصتی برای شرکت‌ها می‌شود تا برای طراحی و تولید محصولات سبزتر سرمایه‌گذاری کرده و نیازمندی‌های پایداری را رفع کنند و این نه‌تنها شامل محصولات مصرف‌کننده است، بلکه شامل ورودی‌ها از تأمین‌کنندگان هم می‌باشد و باعث دخیل شدن آن‌ها برای ایجاد بازارهای سبز می‌گردد[2].

سبز کردن زنجیره تأمین هم در سطح فردی و هم ملی برای شرکت‌ها مزایایی دارد. در سطح فردی، برنامه‌های زنجیره تأمین سبز باعث مزایای رقابتی معینی می‌شود؛ نظیر هزینه‌های کمتر، محصولات سبزتر و ادغام بهتر با تأمین‌کنندگان. در سطح ملی، زنجیره تأمین سبز می‌تواند بازارهایی را برای محصولات سبز ایجاد کند، همچنین باعث تطبیق بهتر تأمین‌کنندگان با مسائل محیطی گردد. سبز کردن زنجیره تأمین می‌تواند باعث بهبود

1. Handfield et al., 2005.
2. Sheu et al., 2004.

موقعیت رقابتی شرکت از طریق کاهش هزینه‌ها گردد. علاوه بر کاهش هزینه‌ها، همکاری نزدیک با تأمین‌کنندگان می‌تواند به محصولات سبز منجر گردد. مطالعات نشان می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد اثرات محیطی محصولات و تقاضا برای منابع، توسط طراحی محصولات مشخص می‌شود. بهبود طراحی، نیازمند همکاری نزدیک با تأمین‌کنندگان است. شرکت‌ها در مورد محصولاتشان باید تجدیدنظر کرده و آن‌ها را با محیط سازگارتر کنند. در این راستا برای موفقیت باید همکاری بیشتر و نزدیک‌تری با تأمین‌کنندگان خود داشته باشند[1]، لذا فاز دوم این تحقیق بر تأمین‌کنندگان متمرکز شده است و از تئوری روابط خاکستری به‌منظور انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده خواهد شد.

۱. مطالعات انجام شده در حوزه مدیریت زنجیره تأمین سبز

مفهوم زنجیره تأمین سبز نخستین بار توسط کله و سیلور در سال ۱۹۸۹ مطرح شد. برخی از موارد کار شده در این زمینه در ادامه آمده است:

هوا[2] در مقاله‌ای دو مفهوم «بهره‌وری سبز» و «مدیریت زنجیره تأمین» را به هم پیوند داد. وی معتقد است هم‌افزایی رعایت ملاحظات زیست محیطی و مدیریت زنجیره تأمین فرصتی فراهم می‌کند تا زنجیره تأمین به سازمان‌ها کمک کند که بهره‌وری، کیفیت و عملکرد محیطی خود را از طریق جریان پیوسته اطلاعات ارتقا دهند.

هوانگ[3] بحث خرید سبز را مطرح کرد، به این صورت که در فرآیند تولید و عرضه محصولات، مقادیر زیادی از مواد اولیه، ملزومات اداری و ... لازم است. برای اینکه شرکت‌ها بتوانند محصولات سبز تولید نمایند، باید از مواد و محصولاتی استفاده کنند که با معیارهای زیست محیطی سازگار باشد. لذا سازمان‌ها در مذاکره با تأمین‌کنندگانشان (به‌منظور حفظ سهم بازار یا حتی گاهی تنها برای بقا) باید به موضوعات محیطی توجه کنند. برخی از دلایل روی آوردن شرکت‌ها به خرید سبز پاسخ به علاقه مصرف‌کنندگان به محصولات سازگار با محیط زیست، تمایز قائل شدن بین محصولات شرکت و رقبا و

1. Trowbridge, 2003.
2. Hwa, 2001.
3. Huang, 2001.

صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌باشد. اغلب شرکت‌ها اصولی را برای سازگاری بیشتر با محیط‌زیست مدنظر قرار می‌دهند که برخی از این اصول عبارت‌اند از: تهیه فهرستی از مواد شیمیایی که نباید به‌کار برده شود، تهیه فهرستی از محصولات مورد قبول، همکاری نزدیک با تأمین‌کنندگان برای افزایش عملکرد محیطی و در نظر گرفتن ویژگی‌های چندگانه محیطی هنگام تصمیم‌گیری در مورد خرید.

رائو[1] معتقد است شرکت‌ها باید تیم‌هایی را برای بررسی و انتخاب تأمین‌کنندگان تشکیل دهند. چنین اقدامی موارد زیر را تضمین می‌کند:

- سازگاری محصولات یا خدمات تولیدی شرکت با محیط زیست؛
- جلوگیری از آلودگی در منبع؛
- استفاده مجدد مواد؛
- افزایش حجم بازیافتی‌ها در تولید؛
- بهینه‌سازی فرآیندها به‌گونه‌ای که ایجاد ضایعات چه مضر و چه غیرمضر حداقل شود؛
- طراحی دوباره محصولات به‌گونه‌ای که اثرات نامطلوب محیطی آن‌ها حداقل شود.

البته به اعتقاد ژو و همکارانش[2] از دید مسائل محیطی برای انتخاب تأمین‌کنندگان موانع و فشارهایی وجود دارد. برخی از این فشارها قوانین و مقررات دولتی محیطی، رسالت محیطی خرید شرکت، مسئولیت بالقوه برای دفع مواد خطرناک و هزینه دفع مواد خطرناک است.

کوشیبو[3] معتقد است که برای تولیدکنندگان تنها تولید و عرضه محصولات سبز به بازارها کافی نیست. آن‌ها علاوه بر این به مصرف‌کنندگانی که خواهان محصولات سبز باشند، نیاز دارند. به‌عبارت دیگر، شرکت‌های سبز به بازارهای سبز نیاز دارند.

به اعتقاد یو[4]، بین مصرف‌کنندگان این آگاهی به‌وجود آمده است که خرید آن‌ها روی محیط اثر می‌گذارد و آن‌ها ترغیب شده‌اند که نه‌تنها به کیفیت کالا توجه کنند، بلکه

1. Rao, 2004, p. 300.
2. Zhu et al., 2005, p: 463.
3. Koshibu, 2001.
4. Yu, 2001.

شرایطی که تحت آن کالاها تولید می‌شوند را نیز در نظر بگیرند. مصرف سبز ابتدا در اروپا شروع شد و در دهه ۱۹۸۰ به اوج خود رسید و این امر در آلمان شدت بیشتری داشت. مصرف‌کنندگان به حمایت از تولیدکنندگانی پرداخته‌اند که درباره مسائل محیط زیست پاسخگو هستند. در نتیجه، مصرف‌گرایی سبز به این امر منجر شد که شناخت محیط برای تولیدکنندگان به یک مزیت رقابتی تبدیل شود. همچنین مصرف‌گرایی سبز بر این امر تأکید دارد که تولیدکنندگان باید سازگاری محصولاتشان با معیارهای زیست محیطی را تضمین کنند.

تروبریج[1] تجربه شرکت AMD[2] را در زمینه مدیریت زنجیره تأمین سبز بیان می‌کند. این شرکت یک شرکت تولیدکننده ریزپردازنده و وسایل حافظه نوری است که در آن مدیریت زنجیره تأمین سبز از سال ۱۹۹۹ مورد توجه قرار گرفته و در راستای اجرای آن فعالیت‌هایی در شرکت انجام می‌شود؛ نظیر:

- تأمین‌کنندگان در امر طراحی برای محیط، سلامتی و امنیت مشارکت می‌کنند.
- شرکت و تأمین‌کنندگانش فعالانه فرصت‌هایی را جستجو می‌کنند تا ضایعات بسته‌بندی و تحویل را کاهش دهند.
- علی‌رغم یک‌سری محدودیت‌ها که در مورد استفاده مجدد از مواد در فرآیند وجود دارد، شرکت فرصت‌های دیگری را برای استفاده مجدد مواد یافته است.

برد و ریز[3]، معتقدند به‌منظور دستیابی به نتایج محیطی بهتر در حرکت به سوی مدیریت زنجیره تأمین سبز، سازمان‌ها باید با پذیرفتن ساختارها و فرآیندهای مدیریت مشارکتی (به‌منظور استفاده از ایده‌ها، نوآوری‌ها و خلاقیت کارکنان) از کارکنانشان بهره بگیرند. بسیاری از صاحب‌نظران استفاده از تیم‌های سبز را توصیه می‌کنند. مراحل به‌کارگیری یک تیم سبز عبارت‌اند از: بازنگری محیط، بنا نهادن یک برنامه محیطی، تأسیس یک واحد محیطی، ایجاد گروه‌های کاری برای فعالیت‌های محیطی، تعیین اهداف محیطی سازمان، ترکیب مسائل محیطی با چارچوب نظارت سازمان و بازنگری دستاوردهای برنامه محیطی.

---

1. Trowbridge, 2001.
2. Advanced Micro Device.
3. Beard and Rees, 2000.

هریس و کرین[1] بیان می‌کنند که حرکت در راستای فعالیت‌های سبز و اجرای مدیریت سبز به‌طور عمده به تغییرات سبز فرهنگی وابسته است. تغییرات سبز فرهنگی نیازمند ترکیب مسئولیت محیطی با فرهنگ موجود سازمان است. این تأکید روی تغییرات سبز فرهنگی انگیزه‌ای برای تلاش در راستای مفهوم‌سازی ارزش‌های فرهنگ سبز سازمانی است. برخی از این ارزش‌های کلیدی عبارت‌اند از: وارد کردن ملاحظات محیطی در سرتاسر زنجیره ارزش سازمان، تعدیل اهداف اقتصادی و در نظر گرفتن اخلاقیات، معنویت و آینده‌نگری.

رائو[2] اظهار می‌دارد که سبز کردن صنعت به‌طور عمده به سبز کردن تولید بستگی دارد، زیرا آلاینده‌ها به‌طور عمده در حین مراحل تولید کالا و خدمات ایجاد می‌شوند. کاربرد تولید سبز بیشتر به خلاقیت و تکنیک‌های ابداعی وابسته است تا سرمایه‌گذاری سنگین در فناوری سازگار با محیط‌زیست و این امر نیازمند همکاری نزدیک با کارکنان و تأمین‌کنندگان است. چهار چارچوب رایج برای کاربرد تولید سبز وجود دارد که عبارت‌اند از:

- **تولید پاک‌تر**[3]: تولید پاک‌تر کاربرد پیوسته یک راه‌کار محیطی بازدارنده قابل کاربرد برای محصولات، فرآیندها و خدمات است و به علت‌های آلودگی توجه می‌کند. هدف این دیدگاه، جلوگیری از آلودگی در منابع اولیه تولید است.
- **کارایی محیطی**[4]: هدف این دیدگاه، نگه‌داری و محافظت منابع است. این دیدگاه می‌کوشد تا کالاها و خدمات را با استفاده بهینه از ورودی‌های مرحله تولید، تولید کند و از این طریق ضایعات را حداقل سازد و آلودگی را کنترل کند.
- **تولید ناب**[5]: این مفهوم مشابه مفهوم قبل، تلاش دارد تا فعالیت‌های بدون ارزش‌افزوده را حداقل کند، استفاده از منابع را کاهش دهد و از این طریق کارایی را افزایش دهد.

1. Harris and Crane, 2002, p: 216.
2. Rao, 2004, p: 301.
3. Cleaner production.
4. Eco-efficiency.
5. Lean Production.

- **مدیریت جامع کیفیت محیطی**[1]: مدیریت جامع کیفیت محیطی روی حداقل‌سازی ضایعات و کارایی فرآیند تأکید می‌کند. این مفهوم شامل توانمندسازی کارکنان، بهبود مستمر، تمرکز روی مشتری و ادغام با تأمین‌کنندگان است.

ژو و همکاران[2] در مطالعه‌ای دیگر به دلیل افزایش فشارها به مدیران برای ارتقای هم‌زمان ملاحظات زیست‌محیطی و عملکرد اقتصادی در صنعت خودروی چین، اجرایی کردن مدیریت زنجیره تأمین سبز را مورد بررسی قرار دادند. برخی از عواملی که به سازمان‌ها برای پذیرش و اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز فشار می‌آورند، عبارت‌اند از: فشار مصرف‌کنندگان، کمبود منابع، راه‌کارهای سبز رقبا، رسالت محیطی سازمان و قوانین و مقررات ملی و بین‌المللی.

سو و هو[3] به ارزیابی رویکردهای عمده در عملیاتی کردن مدیریت زنجیره تأمین سبز پرداختند. آن‌ها ۲۰ رویکرد را شناسایی کرده و از طریق تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی، رویکردها را اولویت‌بندی کردند. سه اولویت نخست به‌دست آمده در این تحقیق عبارت‌اند از: بنا نهادن یک پایگاه داده محیطی برای محصولات، حمایت مدیریت عالی و ارزیابی محیطی تأمین‌کنندگان.

ژو و همکاران[4]، ۲۲ مؤلفه را برای ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز در برخی صنایع چین نظیر الکترونیک، پتروشیمی و خودرو شناسایی کردند. آن‌ها این معیارها را در پنج گروه شامل مدیریت محیطی داخلی، خرید سبز، همکاری با مشتری، بازیافت و طراحی محیطی طبقه‌بندی کردند.

نینلاوان و همکاران[5]، معیارهایی را برای ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت الکترونیک تایلند شناسایی کردند. آن‌ها این معیارها را در چهار گروه شامل تدارکات سبز، تولید سبز، توزیع سبز و لجستیک طبقه‌بندی کردند.

---

1. Total Quality Environmental Management (TQEM).
2. Zhu et al., 2007.
3. Hsu and Hu, 2008.
4. Zhu et al., 2008a.
5. Ninlawan et al., 2010.

وانگ و دیگران[1]، با ارائه یک مدل چندهدفه، به بهینه‌سازی زنجیره تأمین سبز پرداختند. آن‌ها با در نظر گرفتن متغیرهایی از قبیل هزینه حمل‌ونقل، جریان محصولات در طول زنجیره تأمین و سرمایه‌گذاری برای حفاظت از محیط زیست، مدل تحقیق خود را توسعه دادند.

شانگ و دیگران[2]، با مطالعه بر روی یک شرکت الکترونیکی، ۲۲ شاخص را با استفاده از تحلیل عاملی، برای سنجش زنجیره تأمین سبز در حوزه صنعت الکترونیک، استخراج کردند.

رن و دیگران[3]، با ارائه مدلی چندهدفه به بهینه‌سازی اقتصادی سیستم‌های توزیع انرژی پرداختند. مدل آن‌ها به کاهش CO_2 و سوخت‌های فسیلی منجر شد که پیامدهای منفی برای محیط زیست دارد.

ایپ و همکاران[4]، رویکرد جامعی را برای مدل‌سازی و ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین ارائه دادند. آن‌ها برای این ارزیابی شش معیار قابلیت اطمینان محصول، رضایت کارکنان، رضایت مشتری، تحویل به‌موقع، رشد سودآوری و کارایی را مدنظر قرار دادند.

کوتزاب و همکاران[5]، ۳۴ شاخص زنجیره تأمین سبز در حوزه خرده‌فروشی را شناسایی کردند و این شاخص‌ها را در هشت طبقه سیستم‌های مدیریت محیطی، استفاده از انرژی، توجه به ورودی‌ها، محصول، بسته‌بندی، حمل‌ونقل، مصرف و ضایعات جای دادند.

بوز و پال[6]، در مورد تأثیر فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز بر روی هزینه‌ها دریافتند که اغلب شرکت‌های بزرگ و دارای بخش‌های قوی تحقیق و توسعه، با اعمال چنین سیاست‌هایی می‌توانند شاهد کاهش چشمگیر در هزینه‌های خود شوند.

لارج و تامسن[7]، شاخص‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز را شناسایی کردند و تحت پنج مؤلفه قابلیت‌های مدیریت تأمین سبز، خرید سبز، تعهد محیطی، ارزیابی محیطی تأمین‌کنندگان و همکاری با تأمین‌کنندگان ارائه دادند.

---

1. Wang et al, 2011.
2. Shang et al. 2010.
3. Ren et al, 2010.
4. Ip et al, 2011.
5. Kotzab et al, 2011.
6. Bose and pal, 2011.
7. Large and Thomsen, 2011.

۲. تئوری روابط خاکستری[1]

دنگ[2] مفهوم ارتباط خاکستری را که براساس تئوری سیستم‌ها بود، بنا نهاد. این روش، همبستگی میان اجزای یک سیستم و سری‌های مرجع را مورد کنکاش قرار می‌دهد. این تئوری برای حل مسائل مبهم و مسائلی که داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص دارد به‌کار می‌رود و با استفاده از اطلاعات نسبتاً کم و با تغییرپذیری بسیار در معیارها، خروجی‌های رضایت‌بخش و مطلوبی را تولید می‌کند. تئوری خاکستری، همچون تئوری فازی یک مدل ریاضی اثربخش برای حل مسائل نامشخص و مبهم است. این تئوری در زمینه‌های بسیاری کاربرد دارد و در زمینه حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تحت عنوان تحلیل رابطه‌ای خاکستری به‌کار گرفته شده است. تحلیل رابطه‌ای خاکستری جزئی از تئوری خاکستری است که برای حل مسائلی که از روابط پیچیده‌ای بین عوامل و متغیرهایشان برخوردارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. تئوری سیستم‌های خاکستری، الگوریتمی است که روابط غیرقطعی اعضای یک سیستم را با یک عضو مرجع تحلیل نموده و قابلیت استفاده در حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره را داراست. مراحل تجزیه و تحلیل تئوری خاکستری به‌صورت زیر است:

اگر X_0 سری مرجع با k نهاده (معیار) از $X_1, X_2, \ldots, X_N$ باشد، در این صورت خواهیم داشت:

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \ldots, X_0(j), \ldots X_0(k)\}$$
$$X_1 = \{X_1(1), X_1(2), \ldots, X_1(j), \ldots X_1(k)\}$$
.
.
$$X_i = \{X_i = \{X_i(1), X_i(2), \ldots, X_i(j), \ldots X_i(k)\}$$
.
.
$$X_N = \{X_N(1), X_N(2), \ldots, X_N(j), \ldots X_N(k)\}$$

1. Grey Relational Theory.
2. Deng, 1988; Huang et al., 2008.

ضریب رابطه خاکستری[1] برای تفاوت میان سری‌های X_i و سری‌های مرجع X_0 برای k_{th} نهاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\gamma_{0i} = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \xi \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (۱)$$

که برای سادگی و سهولت در فهم آن می‌توان فرمول بالا را به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\gamma_{0i} = \frac{\Delta \min + \xi \Delta \max}{\Delta X_{0i} + \xi \Delta \max} \quad (۲)$$

به‌طوری که ΔX_{0i} ارزش قدر مطلق میان X_0 و X_i در نهاده k_{th} است، به‌طوری که داریم:

$$\Delta X_{0i} = |X_0(k) - X_i(k)|$$

و برای (k) $\Delta \min = \min_i \min_k \Delta X_{0i}$ و $\Delta \max = \max_i \max_j \Delta X_{0i}$ این روابط برقرار است. همچنین ξ مقدار ضریب تشخیص است که برابر ۰/۵ می‌باشد. برای محاسبه رتبه روابط خاکستری از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$\Gamma_{0i} = \sum_{j=1}^{k} W_j \gamma_{0i} \quad (۳)$$

که W_j وزن نهاده k_{th} است که می‌توان به‌جای آن از $W_j = \frac{1}{k}$ استفاده نمود.

هسیا و وو[2] افزودند پیش از محاسبه ضریب روابط خاکستری بایستی داده‌های تحقیق بی‌مقیاس (نرمالیزه) شوند، لذا برای این کار می‌توان از دو روش زیر استفاده نمود:

$$x_i(j) = \frac{x_i(j) - \min_j x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (۴)$$

$$x_i(j) = \frac{\max_j x_i(j) - x_i(j)}{\max_j x_i(j) - \min_j x_i(j)} \quad (۵)$$

که در این مقاله از رابطه (۴) استفاده شده است.

1. Grey Relational Coefficient.
2. Hsia and Wu, 1997.

۳. متدولوژی

از آنجا که هدف این مقاله ارائه مدلی برای سنجش مدیریت زنجیره تأمین سبز و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان است، ابتدا با مطالعه و بررسی متون علمی، ادبیات تحقیق تدوین شده، سپس اطلاعات لازم در مورد شرکت فولاد آلیاژی ایران جمع‌آوری گردیده است. با توجه به ادبیات تحقیق و اطلاعات در مورد شرکت، شاخص‌های زنجیره تأمین سبز استخراج شده است. این شاخص‌ها مبنای تهیه پرسش‌نامه قرار گرفته و پس از جمع‌آوری داده‌ها تحلیل عاملی اکتشافی انجام شده است، سپس به‌کمک نرم‌افزار لیزرل تحلیل عاملی تاییدی صورت گرفته و مدل نهایی تدوین شده و این شاخص‌های اصلی، در انتخاب تأمین‌کنندگان مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (۱)، فرآیند اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل ۱- مراحل اجرای تحقیق

جامعه آماری این تحقیق، کارشناسان شرکت فولاد آلیاژی ایران می‌باشند. این شرکت به‌دلیل وجود تدابیر مختلف زیست محیطی و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در آن، انتخاب شده و از این جهت، بررسی زنجیره تأمین سبز در آن با شرایط مساعدتری همراه است. همچنین مؤلفه‌شناسی مدیریت زنجیره تأمین سبز و اجرای آن در این شرکت تاکنون انجام نشده است. نمونه آماری این تحقیق از شرکت مذکور و به روش نمونه در دسترس خبرگان، انتخاب شده است. از آنجا که حجم نمونه برای انجام تحقیقات چندمتغیره و تحلیل عاملی باید حداقل ۲۰۰ باشد، نمونه تحقیق براساس این قاعده که حجم نمونه باید حداقل ۱۰ برابر تعداد متغیرهای تحقیق باشد[1]، ۳۴۰ تعیین شد. در نهایت، ۴۰۰ پرسش‌نامه توزیع و ۳۷۹ پرسش‌نامه عودت داده شد. برای تعیین کفایت نمونه از آزمون کیسر[2] استفاده شد. مقدار KMO برای داده‌ها ۰/۷۹ به‌دست آمد و از آنجا که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ است، نشان‌دهنده مناسب بودن همبستگی بین داده‌ها جهت تحلیل عاملی است.

۴. شناسایی شاخص‌های زنجیره تأمین سبز و ارائه مدل

آنجا که رویکرد تحقیق حاضر مدیریت زنجیره تأمین سبز است، لذا باید شاخص‌ها در سرتاسر زنجیره تأمین (از تأمین‌کننده ابتدایی تا مصرف‌کننده نهایی) مورد شناسایی و استخراج قرار گیرد. الگوی ما یک الگوی فرآیندی (ورودی - پردازش - خروجی) است و مؤلفه‌های سبز در این زنجیره شناسایی و اولویت‌بندی شده‌اند. لازم به ذکر است که این شاخص‌ها از بررسی متون علمی و بررسی موضوع سبز در سطح شرکت فولاد آلیاژی ایران استخراج شده‌اند، البته در این راستا علاوه بر کمک گرفتن از تحقیقات قبلی از نظرات کارشناسان کارخانه و صنعت نیز استفاده شده است. شاخص‌های نهایی استخراج شده زنجیره تأمین سبز ۳۴ مورد است که عبارت‌اند از:

۱. رعایت استانداردهای لازم برای خرید مواد اولیه از نقطه‌نظر فنی و زیست‌محیطی[3]؛

---

۱. هومن، ۱۳۸۵.

2. Kaiser.

3. Webb, 2009, p: 34; Large and Thomsen, 2011, p: 179; Lin, 2011, p: 2.

۲. وجود ضوابط لازم برای کاهش مصرف مواد اولیه[1]؛
۳. استفاده از فناوری‌های جدید برای استفاده بهینه مصرف انرژی[2]؛
۴. آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی[3]؛
۵. تنظیم ضوابط و معیارهای لازم برای کاهش مصرف انرژی[4]؛
۶. رعایت استانداردهای لازم در خرید ماشین‌آلات، تجهیزات و ابزار از نقطه‌نظر فنی و زیست‌محیطی[5]؛
۷. بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین‌آلات و بررسی وضعیت فرسودگی آن‌ها که باعث آلودگی محیط زیست و مصرف بالای انرژی نگردد[6]؛
۸. بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی از نقطه‌نظر اصولی صرفه‌جویی در منابع[7]؛
۹. وجود وسایل و تجهیزات پیشرفته برای حمل‌ونقل مواد، محصول نهایی و ضایعات به‌نحوی که حداقل اتلاف و ریخت و پاش را داشته باشد[8]؛
۱۰. بازیافت پسماندها و ضایعات در داخل شرکت[9]؛
۱۱. آلایندگی آب، خاک و هوا توسط محصول نهایی[10]؛
۱۲. آلایندگی آب، خاک و هوا توسط ضایعات[11]؛
۱۳. آلایندگی آب، خاک و هوا در فرآیند بازفراوری[12]؛
۱۴. بازیافت محصول پس از اتمام عمر مفید آن[13]؛
۱۵. طولانی بودن عمر محصول[14]؛

---

1. Stokes and Tohamy, 2009, p: 8.
2. Zhu et al., 2008b, p: 579; Tseng, 2011, p: 4897.
3. Zhu et al., 2005, p: 461.
4. Zhu et al., 2005, p: 461; Kotzab et al., 2011, p: 664.
5. Zhu et al., 2008a, p: 9.
6. Zhu et al., 2005, p: 458.
7. Rao and Holt, 2005, p: 911.
8. Zhu et al., 2005, p: 458; Kotzab et al., 2011, p: 664.
9. Shue, 2008, p: 20; Kotzab et al., 2011, p: 664; Lin, 2011, p: 2.
10. Rao, 2004, p: 297.
11. Rao, 2004, p: 303.
12. Rao and Holt, 2005, p: 907.
13. Stokes and Tohamy, 2009, p: 8; Bose and Pal, 2011, p: 2; Lin, 2011, p: 2.
14. Stokes and Tohamy, 2009, p: 8; Bose and Pal, 2011, p:2.

۱۶. آموزش و توصیه افراد در زمینه مسائل زیست‌محیطی[1]؛
۱۷. فراهم‌سازی محیطی برای پژوهش و ارائه پیشنهادها در زمینه مسائل زیست‌محیطی[2]؛
۱۸. بازیافت پسماندها و ضایعات در خارج از شرکت[3]؛
۱۹. ترویج فرهنگ سبز (رعایت ملاحظات زیست‌محیطی) در فضای کاری شرکت[4]؛
۲۰. ایجاد سیستم‌های کنترلی و نظارتی جهت رعایت استانداردهای زیست‌محیطی[5]؛
۲۱. ایجاد نظام‌های اطلاع‌رسانی به کارمندان و کارکنان[6]؛
۲۲. حمایت از زنجیره تأمین سبز توسط مدیران ارشد و میانی[7]؛
۲۳. مدیریت کیفیت جامع محیطی[8]؛
۲۴. داشتن گواهی ISO 14000[9]؛
۲۵. سیستم‌های مدیریت محیطی[10]؛
۲۶. کمک به تأمین‌کنندگان برای طراحی[11]؛
۲۷. همراهی با تأمین‌کنندگان برای اهداف محیطی[12]؛
۲۸. ارزیابی تأمین‌کنندگان از نظر محیطی[13]؛
۲۹. کنترل گواهی ISO 14000 تأمین‌کنندگان[14]؛
۳۰. بسته‌بندی سبز[15]؛
۳۱. طراحی محصولات در جهت کاهش مصرف انرژی و مواد[16]؛

---

1. Nuttall, 2008, p: 10.
2. Harris and Crane, 2002.
3. Shue, 2008, p: 20; Lin, 2011, p: 2.
4. Harris and Crane, 2002.
5. Chavan, 2005, p:446.
6. Zhu et al., 2007.
7. Hsu and Hu, 2008, p: 207; Tseng, 2011, p: 4897; Large and Thomsen, 2011, p: 179.
8. Zhu and Sarkis, 2004; Vachon and Klassen, 2006.
9. Chavan, 2005, p:448.
10. Chavan, 2005, p:446; Tseng, 2011, p: 4897.
11. Zhu et al., 2008a, p: 9.
12. Rao, 2004, p: 297; Tseng, 2011, p: 4897; Large and Thomsen, 2011, p: 179; Lin, 2011, p: 2; Hsu et al., 2011, p: 5.
13. Rao, 2004, p: 297; Large and Thomsen, 2011, p: 179.
14. Zhu et al., 2005, p: 453.
15. Zhu et al., 2008b, p: 583; Kotzab et al., 2011, p: 664.
16. Avila, 2006; bose and pal, 2011, p: 2.

۳۲. طراحی محصولات در جهت استفاده مجدد و بازیافت مواد[1]؛
۳۳. طراحی محصولات در جهت جلوگیری از مصرف مواد خطرزا در فرآیند تولید[2]؛
۳۴. طراحی محصولات در جهت نیازها و خواسته‌های مشتریان[3].

این شاخص‌ها پس از شناسایی و استخراج، برای نهایی کردن و اولویت‌بندی در قالب پرسش‌نامه‌ای به نظرخواهی خبرگان گذارده شد. از آنجا که مفروضات اساسی تحلیل عاملی در این تحقیق برقرار است (کفایت نمونه، وجود حداقل سه متغیر برای هر عامل و متناسب بودن مقدار آزمون کیسر) جهت تعیین روایی پرسش‌نامه تحقیق از تحلیل عاملی استفاده شده است. تحلیل عاملی اساساً مشخص می‌کند که آیا نشانگرهایی (شاخص‌ها) که برای معرفی سازه یا متغیرهای مکنون (عامل‌ها) در نظر گرفته شده‌اند واقعاً معرف آن‌ها هستند یا خیر و همچنین مشخص می‌نماید که نشانگرهای انتخابی با چه دقتی معرف یا برازنده متغیر مکنون هستند[4]. نتایج تحلیل عاملی جهت بررسی معناداری روابط بین شاخص‌ها و عامل‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج تحلیل عاملی شاخص‌ها

ردیف	عامل‌ها / شاخص‌ها	مدیریت محیطی داخلی	خرید سبز	تولید پاک	بازفراوری	طراحی محیطی	آلایندگی
۱	حمایت زنجیره تأمین سبز توسط مدیران ارشد و میانی	۰/۹۸* ۱۲/۴۵					
۲	مدیریت کیفیت جامع محیطی	۰/۷۹ ۹/۸۰					
۳	داشتن گواهی ISO 14000	۰/۸۶ ۱۱/۶۶					

1. Chen and Shue, 2009, p: 668.
2. Rao and Holt, 2005, p: 906.
3. Zhu et al., 2008a, p: 9.
۴. هومن، ص ۱۷، ۱۳۸۴.

ردیف	عامل‌ها / شاخص‌ها	مدیریت محیطی داخلی	خرید سبز	تولید پاک	بازفراوری	طراحی محیطی	آلایندگی
۴	سیستم‌های مدیریت محیطی	۰/۷۵ ۱۲/۳۲					
۵	ایجاد سیستم‌های کنترلی و نظارتی جهت رعایت استانداردهای زیست‌محیطی	۰/۷۹ ۸/۹۹					
۶	آموزش و توصیه افراد در زمینه مسائل زیست محیطی	۰/۹۲ ۹/۰۷					
۷	فراهم‌سازی محیطی برای پژوهش و ارائه پیشنهادها در زمینه مسائل زیست محیطی	۰/۹۰ ۸/۹۹					
۸	ترویج فرهنگ سبز (رعایت ملاحظات زیست‌محیطی) در فضای کاری شرکت	۰/۸۷ ۹/۰۷					
۹	ایجاد نظام‌های اطلاع‌رسانی به کارمندان و کارکنان	۰/۹۲ ۸/۹۹					
۱۰	رعایت استانداردهای لازم برای خرید مواد اولیه از نقطه‌نظر فنی و زیست‌محیطی و توجه به خرید موادی که کمترین صدمه را به محیط‌زیست و کارکنان وارد نمایند.		۰/۹۵ ۱۳/۰۸				
۱۱	کمک به تأمین کنندگان برای طراحی		۰/۸۲ ۲۲/۹۴				
۱۲	همراهی با تأمین کنندگان برای اهداف محیطی		۰/۹۲ ۱۴/۵۰				

ردیف	عامل‌ها / شاخص‌ها	مدیریت محیطی داخلی	خرید سبز	تولید پاک	بازفراوری	طراحی محیطی	آلایندگی
۱۳	ارزیابی تأمین‌کنندگان از نظر محیطی		۰/۸۸ ۱۲/۷۷				
۱۴	کنترل گواهی ISO 14000 تأمین‌کنندگان		۰/۷۸ ۲۰/۷۲				
۱۵	رعایت استانداردهای لازم در خرید ماشین‌آلات، تجهیزات و ابزار از نقطه‌نظر فنی و زیست‌محیطی			۰/۸۰ ۲۲/۲۳			
۱۶	استفاده از فناوری‌های جدید جهت استفاده بهینه مصرف انرژی			۰/۸۱ ۲۲/۳۴			
۱۷	آموزش و ارائه الگوهای مصرف صحیح انرژی			۰/۷۷ ۲۴/۰۸			
۱۸	تنظیم ضوابط و معیارهای لازم برای کاهش مصرف انرژی			۰/۹۲ ۲۳/۸۷			
۱۹	وجود ضوابط لازم جهت کاهش مصرف مواد اولیه			۰/۸۸ ۱۷/۹۱			
۲۰	بررسی تحلیلی مداوم وضعیت کاری ماشین‌آلات و بررسی وضعیت فرسودگی آن‌ها که باعث آلودگی محیط‌زیست و مصرف بالای انرژی نگردد.			۰/۷۲ ۱۷/۵۶			
۲۱	بررسی تحلیلی تمام مراحل عملیات فرآیند تولیدی از نقطه‌نظر اصولی صرفه‌جویی در منابع			۰/۸۷ ۲۴/۰۸			

ردیف	عامل‌ها / شاخص‌ها	مدیریت محیطی داخلی	خرید سبز	تولید پاک	بازفراوری	طراحی محیطی	آلایندگی
۲۲	وجود وسایل و تجهیزات پیشرفته برای حمل‌ونقل مواد، محصول نهایی و ضایعات به‌نحوی که حداقل اتلاف و ریخت و پاش را داشته باشد.			۰/۸۰ ۲۳/۰۷			
۲۳	بسته‌بندی سبز			۰/۷۱ ۱۸/۸۰			
۲۴	بازیافت پسماندها و ضایعات در خارج از شرکت				۰/۸۸ ۲۰/۲۱		
۲۵	بازیافت پسماندها و ضایعات در داخل شرکت				۰/۸۳ ۲۰/۷۱		
۲۶	بازیافت محصول پس از پایان عمر مفید آن				۰/۶۶ ۱۹/۴۵		
۲۷	طولانی بودن عمر محصول				۰/۷۸ ۱۷/۴۵		
۲۸	طراحی محصولات در جهت کاهش مصرف انرژی و مواد					۰/۹۱ ۱۶/۷۵	
۲۹	طراحی محصولات در جهت استفاده مجدد و بازیافت مواد					۰/۹۰ ۲۲/۸۶	
۳۰	طراحی محصولات در جهت جلوگیری از مصرف مواد خطرزا در فرآیند تولید					۰/۸۳ ۲۱/۸۴	
۳۱	طراحی محصولات در جهت نیازها و خواسته‌های مشتریان					۰/۷۵ ۲۱/۱۴	
۳۲	آلایندگی آب، خاک و هوا توسط محصول نهایی						۰/۸۷ ۱۸/۸۶

ردیف	عامل‌ها / شاخص‌ها	مدیریت محیطی داخلی	خرید سبز	تولید پاک	بازفراوری	طراحی محیطی	آلایندگی
۳۳	آلایندگی آب، خاک و هوا توسط ضایعات						۰/۹۲ ۲۳/۱۷
۳۴	آلایندگی آب، خاک و هوا در فرآیند بازفراوری						۰/۸۲ ۲۳/۰۸
سطح معنی‌داری		۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

* عدد اول مربوط به هر شاخص، نمایانگر پارامتر استاندارد شده (بار عاملی) است و عدد دوم، مقدار T را نشان می‌دهد.

مقدار پارامتر استاندارد برای هر یک از عوامل نشان‌دهنده بار عاملی آن‌ها روی متغیر نهفته (مکنون) مربوط است که مقدار t>2 متناظر آن‌ها نیز معناداری سهم آن‌ها در اندازه‌گیری متغیرها را نشان می‌دهد، در نتیجه، تمام متغیرها معنی‌دار هستند. پس از تأیید اثر عاملی متغیرها به بررسی اعتبار کلی مدل (جدول ۲) می‌پردازیم.

جدول ۲- شاخص‌های برازندگی مدل

شاخص	مقدار
کای دو	P* (0.789) 89.11
RMSEA	۰/۰۱۳
CFI	۰/۹۸
NFI	۰/۹۷
RMR	۰/۰۰۸
GFI	۰/۹۶
AGFI	۰/۹۵

همان‌طور که مشخصه‌های برازندگی نشان می‌دهند داده‌های این پژوهش با ساختار عاملی و زیربنای نظری متغیر عملکرد، برازش مناسبی دارد و این بیانگر همسو بودن سوالات با سازه نظری است.

نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان می‌دهد متغیرها در قالب شش مؤلفه قابل طبقه‌بندی هستند. مؤلفه اول را می‌توان «مدیریت محیطی داخلی[1]» نام نهاد که شامل شاخص‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۹ تا ۲۵ است. مدیریت محیطی داخلی، یک عنصر کلیدی در بهبود عملکرد شرکت است. آشکار است که به حمایت مدیران عالی نیاز است و اغلب یک عامل کلیدی برای پذیرش و کاربرد موفق نوآوری‌ها، فناوری‌ها، برنامه‌ها و فعالیت‌های سبز محسوب می‌شود. به‌منظور تضمین برتری محیطی، مدیریت عالی باید کاملا متعهد باشد. ینگ و همکاران دریافتند که اعتماد به نفس مدیران فاکتور کلیدی توسعه سیستم مدیریت کیفیت جامع محیطی است.

مؤلفه دوم را می‌توان «خرید سبز[2]» نامید که شامل شاخص‌های ۱ و ۲۶ تا ۲۹ است و مؤلفه سوم را می‌توان «تولید پاک[3]» نام نهاد که شامل شاخص‌های ۲ تا ۹ و ۳۰ است.

شاخص‌های مؤلفه چهارم با مباحث بازفراوری[4] مناسبت دارند و شامل شاخص‌های ۱۰، ۱۴، ۱۵ و ۱۸ می‌باشند. برخی تولیدکنندگان برای کاهش هزینه، بهبود وجهه شرکت، رفع انتظارات متغیر مشتریان و در اختیار گرفتن بازار، به امر بازیافت محصول می‌پردازند. فروش موجودی یا تجهیزات اضافی نیز جنبه‌های دیگری از بازیافت است.

مؤلفه پنجم را می‌توان «طراحی محیطی[5]» نامید که شامل شاخص‌های ۱۵ و ۳۱ تا ۳۳ است. بسیاری از اثرات محیطی محصولات یا مواد خام را می‌توان در مرحله طراحی یعنی زمانی که مواد و فرآیندها انتخاب می‌شوند، کنترل کرد. سودآوری محصولات به طراحی

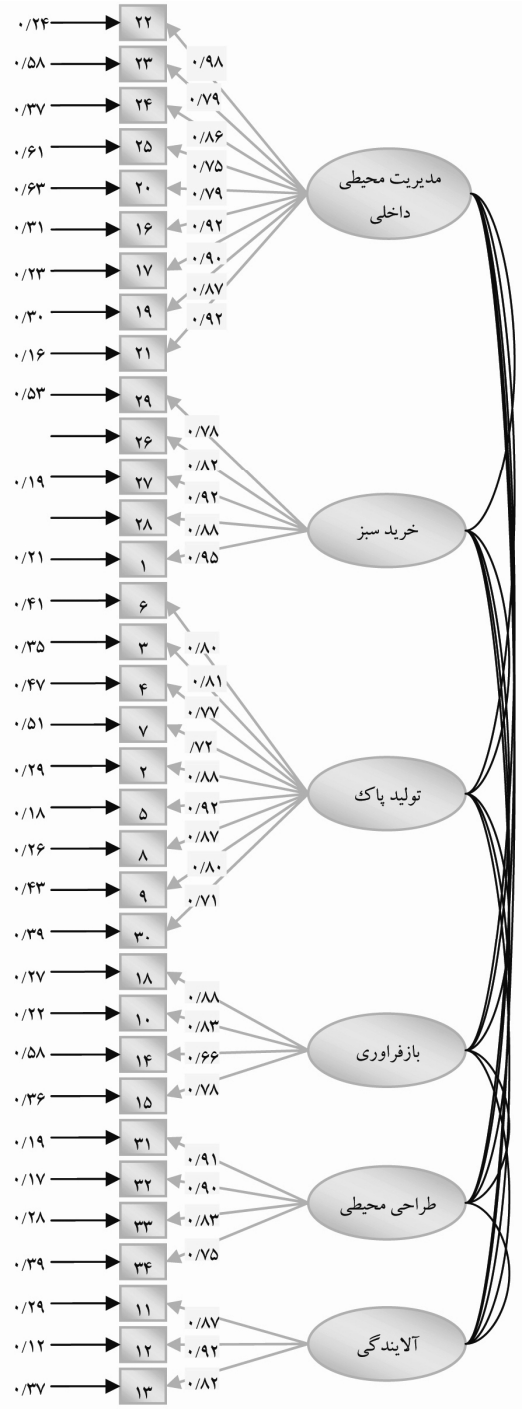
1. Internal Environmental Management (IEM).
2. Green Purchasing (GP).
3. Cleaner Production (CP).
4. Recovery.
5. Eco-Design (ECO).

آن‌ها باز می‌گردد، لذا طراحی محیطی از مؤلفه‌های مهم مدیریت زنجیره تأمین سبز است. در طراحی محصولات باید اثرات محیطی محصولات را در چرخه عمر آن‌ها به حداقل رساند. طراحی موفق محیطی مستلزم تعامل هم‌زمان سازمان با تأمین‌کنندگان و مصرف‌کنندگانش است.

مؤلفه ششم مدیریت زنجیره تأمین سبز را می‌توان «آلایندگی» نامید که شامل شاخص‌های ۱۱ تا ۱۳ است. کنترل میزان آلایندگی آب، خاک و هوا توسط ضایعات، محصول نهایی و همچنین در فرآیند بازفراوری فاکتور مهمی برای کاهش اثرات محیطی است.

لازم به ذکر است که آلفای کرونباخ شش عامل شناسایی‌شده به شرح زیر محاسبه شد: مدیریت محیطی داخلی ۰/۸۴، خرید سبز ۰/۸۶، تولید پاک ۰/۷۸، بازفراوری ۰/۹۲، طراحی محیطی ۰/۸۶ و آلایندگی ۰/۸۳. از آنجا که مقادیر آلفا از مقدار ۰/۷ بیشتر است لذا ابزار تحقیق از پایایی لازم برخوردار است.

مدل نهایی تحقیق به‌صورت شکل (۲) می‌باشد. بیضی‌ها، متغیرهای مکنون یا عامل‌ها و مستطیل‌ها، شاخص‌های زنجیره تأمین سبز را نشان می‌دهند. پیکان‌های یک‌سویه از بیضی‌ها به مستطیل‌ها نشان می‌دهد که هر مورد روی کدام عامل بار می‌گیرند. مقادیر نوشته‌شده روی پیکان‌ها، میزان واریانس آن مورد را که از سوی عامل قابل توضیح (تبیین) است، نشان می‌دهند. پیکان‌های کوچک، واریانس باقی‌مانده (خطا) را نشان می‌دهند که به‌وسیله عامل تبیین نمی‌شود. پیکان‌های دوسویه، همبستگی میان عامل‌ها را نشان می‌دهند.



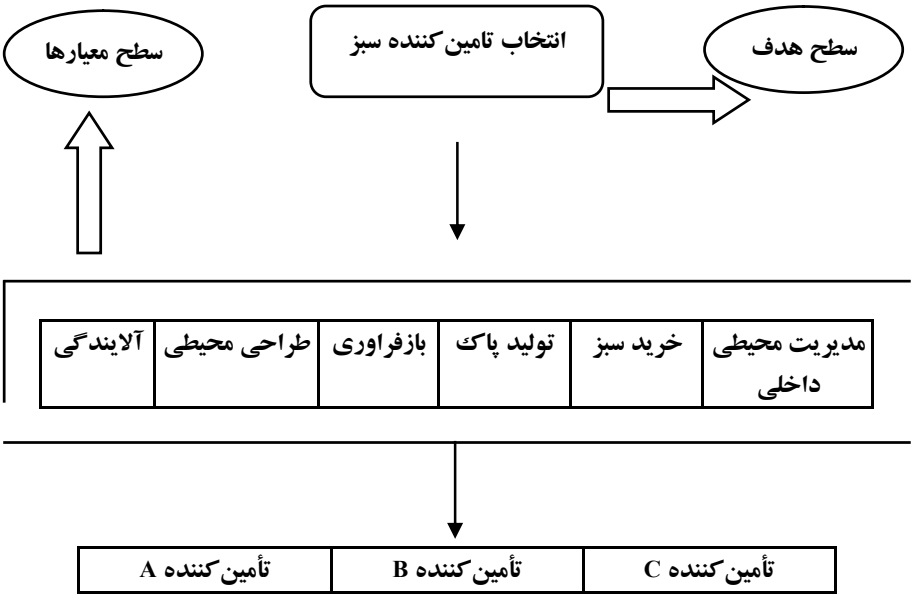
شکل ۲- برونداد مدل مفهومی براساس پارامتر استاندارد شده

۵. رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان

در فاز دوم، از شاخص‌های به‌دست آمده از فاز اول برای انتخاب تأمین‌کنندگان و از ترکیب دو روش تحلیل سلسله مراتبی[1] و تئوری روابط خاکستری برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز استفاده شده و در این فاز برای وزن‌دهی به شاخص‌های اصلی استخراج‌شده، از تحلیل سلسله مراتبی استفاده گردیده است.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندشاخصه[2] است که وقتی عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌رو است، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در حقیقت تحلیل سلسله مراتبی روشی در جهت تجزیه نمودن مسائل پیچیده تصمیم‌گیری با معیارهای مختلف و تبدیل آن به‌صورت یک درخت سلسله مراتبی و اولویت‌بندی تصمیم‌های گروهی از تصمیم‌گیرندگان خبره است که سازگاری قضاوت آن‌ها را نیز می‌سنجد[3]. در این تکنیک سلسله مراتب تصمیم درختی است که با توجه به مسئله تحت بررسی دارای سطوح متعددی است و عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سطح اول هر درخت بیان‌کننده هدف تصمیم‌گیری است و سطح آخر آن بیانگر گزینه‌هایی است که با همدیگر مقایسه می‌شوند و برای انتخاب در رقابت با یکدیگر هستند. دیگر سطوح (میانی) نشان‌دهنده معیارهایی هستند که ملاک مقایسه گزینه‌هاست (Dong et al., 2008). شکل (۳) ساختار سلسله مراتبی تحقیق را نشان می‌دهد.

1. Analytic Hierarchy Process (AHP).
2. MADM.
3. Saaty, 1980, 1994; Tung andTang, 1998; Lee et al., 1999; Macharis et al., 2004.



شکل۳- ساختار AHP تحقیق

جدول (۳) ماتریس تصمیم برای شاخص‌ها و گزینه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- ماتریس تصمیم شاخص‌ها و تأمین‌کنندگان

گزینه‌ها / معیارها	تأمین‌کننده A	تأمین‌کننده B	تأمین‌کننده C
مدیریت محیط داخلی	۰/۵۲۹	۰/۰۱۳۴	۰/۴۵۳
خرید سبز	۰/۲۷۸	۰/۳۵۴	۰/۱۶۷
تولید پاک	/۵۸۰	۰/۲۴۳	۰/۳۲۱
بازفراوری	۰/۳۸۷	۰/۰۳۵	۰/۶۸۹
طراحی محیطی	۰/۳۷۰	۰/۱۵۳	۰/۴۷۹
آلایندگی	۰/۷۳۷	۰/۳۱۲	۰/۵۳۱

پس از ایجاد ماتریس تصمیم، داده‌های آن را بی‌مقیاس (نرمالیزه) نموده که در جدول (۴) مشخص است.

جدول ٤- داده‌های بی‌مقیاس شده

گزینه‌ها و سری مرجع / معیارها	X_0=1 تأمین‌کننده A	X_0=1 تأمین‌کننده B	X_0=1 تأمین‌کننده C
مدیریت محیط داخلی	۱/۰	۰	۰/۸۵۲
خرید سبز	۰/۵۹۳	۱/۰	۰
تولید پاک	۰/۵۸۰	۰/۲۴۳	۰/۲۳۱
بازفراوری	۰/۵۹۱	۰	۱/۰
طراحی محیطی	۰/۱۳۴	۰	۱/۰
آلایندگی	۱/۰	۰	۰/۵۱۵

پس از به‌دست آوردن ماتریس نرمالیزه، حال بایستی ضریب رابطه خاکستری را از طریق رابطه (۲) به‌دست آوریم، اما پیش از آن بایستی مقادیر ΔX_{0i} مشخص گردد. جدول (۵)، این مقادیر را نشان می‌دهد.

جدول ۵- محاسبه مقدار ΔX_{0i}

گزینه‌ها / معیارها	تأمین‌کننده A	تأمین‌کننده B	تأمین‌کننده C
مدیریت محیط داخلی	۱/۰	۱/۰	۰/۱۴۸
خرید سبز	۰/۴۰۷	۰	۱/۰
تولید پاک	۰/۴۲۰	۰/۷۵۷	۰/۷۶۹
بازفراوری	۰/۴۰۹	۱/۰	۰
طراحی محیطی	۰/۸۶۶	۱/۰	۰
آلایندگی	۰	۱/۰	۰/۴۸۵

حال می‌توان ضریب رابطه خاکستری را از رابطه (۲) مشخص نمود که در جدول (۶) نتایج حاصل از محاسبات ارائه شده است.

جدول ۶- ضرایب رابطه خاکستری γ_{0i}

گزینه‌ها و سری مرجع / معیارها	تأمین‌کننده A	تأمین‌کننده B	تأمین‌کننده C
مدیریت محیط داخلی	۰/۳۵۴	۰/۳۵۴	۱/۰
خرید سبز	۰/۴۴۸	۱/۰	۰/۶۶۶
تولید پاک	۱/۰	۰/۳۳۶	۰/۳۳۳
بازفراوری	۰/۵۵۰	۰/۶۶۶	۱/۰
طراحی محیطی	۰/۳۶۰	۰/۵۵۰	۱/۰
آلایندگی	۱/۰	۰/۵۵۰	۰/۵۰۷

حال با داشتن مقادیر γ_{0i} می‌توان ضریب رتبه خاکستری را محاسبه نمود که در جدول(۷) نتایج نهایی و رتبه یک از تأمین‌کنندگان مشخص شده است، با توجه به اینکه نهاده‌های ما (K) سه تأمین‌کننده می‌باشد و با استفاده از رابطه $W_j = \frac{1}{k}$ وزن هریک از تأمین‌کنندگان ۰/۳۳ در نظر گرفته می‌شود. جدول (۷)، ضریب رتبه خاکستری و در نهایت رتبه‌بندی نهایی تأمین‌کنندگان را نمایش می‌دهد.

جدول۷- ضریب رتبه خاکستری Γ_{0i}

تأمین‌کنندگان	Γ_{0i}	رتبه
A	۰/۶۲۴	۲
B	۰/۴۰۴	۳
C	۰/۶۳۷	۱

با توجه به جدول (۷)، بایستی تأمین‌کننده C انتخاب گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر در دو فاز متفاوت انجام گرفت؛ در فاز نخست، ۳۴ شاخص زنجیره تأمین سبز با مطالعه متون علمی و کسب نظر خبرگان صنعت استخراج شد و مبنای تهیه پرسش‌نامه قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل عاملی، مدلی شش عاملی جهت سنجش مدیریت زنجیره تأمین سبز تدوین شد. سپس در فاز دوم، با توجه به شش عامل

استخراجی، برای انتخاب تأمین‌کنندگان شرکت مورد مطالعه، از ترکیب دو روش تحلیل سلسله مراتبی و تئوری روابط خاکستری استفاده گردید. این تحقیق با رویکرد مؤلفه‌شناسی خود می‌تواند زمینهٔ مساعدی جهت اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت به‌ویژه صنعت فولاد ایجاد کند. با توجه به اهمیت روزافزون مباحث زیست محیطی و نیز توجه بیشتر مشتریان به این مورد و همچنین الزامات و قوانین مبنی بر مدنظر قرار دادن ملاحظات زیست‌محیطی توسط صنایع، توجه به پیشنهادهای زیر مفید به‌نظر می‌رسد:

۱- تدوین و رعایت استانداردهای لازم در خرید ماشین‌آلات، تجهیزات و ابزار و در صورت امکان ارتقای سطح فناوری به‌نحوی که مؤلفه‌های سبز در آن لحاظ شده باشد. مؤلفه‌هایی نظیر حداقل استفاده از انرژی، حداقل آسیب به افراد، حداقل آلوده‌سازی محیط‌زیست و...؛

۲- ملزم شدن به رعایت استانداردهای زیست‌محیطی نظیر ISO 14000؛

۳- رعایت اصول سبز در طراحی محصولات و فرآیندهای کاری به‌گونه‌ای که با صرفه‌جویی در مصرف منابع و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی همراه باشد؛

۴- تدوین استانداردهای لازم برای خرید مواد اولیه از نقطه‌نظر فنی و زیست‌محیطی به‌گونه‌ای که کمترین صدمه را به محیط‌زیست وارد نماید؛

۵- تنظیم ضوابط و معیارهایی جهت کاهش مصرف انواع انرژی؛

۶- بازفراوری ضایعات در صورت امکان؛

۷- آموزش افراد در زمینه مسائل زیست‌محیطی.

در ضمن، از آنجا که به‌تدریج توجه به مسائل زیست محیطی اهمیت بیشتری می‌یابد، انجام تحقیقات در زمینه‌های زیر مفید به‌نظر می‌رسد:

۱- تأثیر مؤلفه‌های زنجیره تأمین سبز در این مطالعه و با توجه به جامعه آماری موردنظر مورد تایید قرار گرفته است. بنابراین طراحی مدل زنجیره تأمین سبز و تست آن برای تحقیقات آتی توصیه می‌شود؛

۲- مؤلفه‌شناسی زنجیره تأمین سبز در صنایع و بخش‌های تولیدی دیگر به‌منظور اجرای آن؛

۳- مؤلفه‌شناسی زنجیره تأمین سبز در بخش‌های خدماتی؛

۴- اجرای زنجیره تأمین سبز در سازمان‌های تولیدی و خدماتی.

منابع

هومن، حیدرعلی (۱۳۸۴)؛ «مدل‌یابی معادلات ساختاری»، تهران، انتشارات سمت.

هومن، حیدرعلی (۱۳۸۵)؛ «تحلیل داده‌های چندمتغیری در پژوهش رفتاری»، تهران، انتشارات پیک فرهنگ، چاپ دوم.

Avila, G. (2006); Product Development for RoHs and WEEE Compliance, Printed Circuit Design and Manufacture 23 (5), PP. 28–31.

Beard, Colin and Rees, Stephen (2000); Green Teams and the Management of Environmental Change in a UK County Council, *Environmental Management and Health*, Vol. 11, No. 1, pp. 27-38.

Chavan, Meena (2005); An Appraisal of Environment Management Systems: A Competitive Advantage for Small Businesses, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 16, No. 5, pp. 444-463.

Chen, Yenming J. and Shue, Jiuh-Biing (2009); Environmental-Regulation Pricing Strategies for Green Supply Chain Management, Transportation Research Part E 45, pp. 667–677.

Deng, J.L., (1982); Control Problems of Grey System, Systems and Control Letters 1, pp. 288–294.

Deng, J.L., (1988); Properties of Relational Space for Grey System. in: Deng, J.L. (Ed.), Essential Topics on Grey System—Theory and Applications. China Ocean, Beijing, pp. 1–13.

Handfield R., Sroufe R. and Walton S. (2005); Integrating Environmental Management and Supply Chain Strategies, Business Strategy and the Environment 14(1), 1–19.

Harris, Lloyd C. and Crane, Andrew (2002); The Greening of Organizational Culture, *Journal of Organizational Change Management*, Vol. 15, No. 3, pp. 214-234.

Hsu, C. W. and Hu A. H. (2008); Green Supply Chain Management in the Electronic Industry, *International Journal of Environ.* Sci. Tech. 5 (2), pp. 205-216.

Hsu, Chia-Wei, Kuob, Tsai-Chi, Chenc, Sheng-Hung and Hud, Allen H. (2011); "Using DEMATEL to Develop a Carbon Management Model of Supplier Selection in Green Supply Chain Management", *Journal of Cleaner Production xxx*, pp. 1-9. doi:10.1016/j.jclepro.2011.09.012.

Huang, S.J., Chiu, N.H., Chen, L.W., (2008); Integration of the Grey Relational Analysis with Genetic Algorithm for Software Effort Estimation. *European Journal of Operational Research* 188, 898–909.

Hsia, K.H., Wu, J.H., (1997); A Study on the Data Preprocessing in Grey Relational Analysis. *Journal of Chinese Grey System* 1, 47–53.

Huang, Niven (2001); Eco-Efficiency and an Overview of Green Productivity, Conference on Enhancing Competitiveness Through Green Productivity, China, 25-27 May.

Hwa, Tay Joo (2001); Green Productivity & Supply Chain Management, Conference on Enhancing Competitiveness Through Green Productivity, China, 25-27 May.

Ip, W.H., Chan, S.L. and Lam, C.Y. (2011); Modeling supply chain performance and stability. Industrial Management & Data Systems, Vol. 111, No. 8, pp. 1332-1354. DOI 10.1108/02635571111171649.

Koshibu, Hiroaki (2001); Greening the Market: The Effort by Fuji Xerox & The Green Purchasing Network, Japan, Conference on Enhancing Competitiveness Through Green Productivity, China, 25-27 May.

Kotzab, Herbert, Munch, Hilde M., Faultrier, Brigitte de and Teller, Christoph (2011); Environmental Retail Supply Chains: When Global Goliaths Become Environmental Davids, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 39, No. 9, pp. 658-681. DOI 10.1108/09590551111159332.

Large, Rudolf O. and Thomsen, Cristina Gimenez (2011); Drivers of Green Supply Management Performance: Evidence from Germany, *Journal of Purchasing & Supply Management* 17. pp: 176–184. doi: 10. 1016/ j.pursup. 2011.04.006.

Lee, M., Pham, H., Zhang, X., (1999); A Methodology for Priority Setting with Application to Software Development Process, *European Journal of Operational Research* 118, 375–389.

Lin, Ru-Jen (2011); Using Fuzzy DEMATEL to Evaluate the Green Supply Chain Management Practices, *Journal of Cleaner Production xxx*, pp: 1-8. doi:10.1016/j.jclepro.2011.06.010.

Macharis, C., Springael, J., Brucker, K.D., Verbeke, A., (2004); Promethee and AHP: The Design of Operational Synergies in Multicriteria Analysis: Strengthening Promethee with Ideas of AHP, *European Journal of Operational Research* 153, 307–317.

Ninlawan, C., Seksan, P., Tossapol K. and Pilada, W. (2010); The Implementation of Green Supply Chain Management Practices in Electronics Industry, Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, March 17 – 19.

Nuttall, Nick (2008); Small and Midsize Firms Moving Toward Green Supply Chains, *Business and the Environment*, Vol. 19.

Rao, Purba (2004); Greening Production: a South-East Asian Experience, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24, No. 3, pp. 289-320.

Rao, Purba and Holt, Diane (2005); Do Green Supply Chains Lead to Competitiveness and Economic Performance?, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25, No. 9, pp. 898-916.

Ren, Hongbo. Weisheng, Zhou. Ken'ichi, Nakagami. (2010); "Multi-Objective Optimization for the Operation of Distributed Energy Systems Considering Economic and Environmental Aspects", *Applied Energy*, 87, 3642–3651.

Saaty, T.L., (1980); The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill Publications.

23. Saaty, T.L., (1994); How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. Interfaces 24 (6), 19–43.

Shang, Kuo-Chung. Lu, Chin-Shan. Shaorui Li (2010); "A Taxonomy of Green Supply Chain Management Capability Among Electronics-Related Manufacturing Firms in Taiwan", *Journal of Environmental Management*, 91, 1218–1226.

Sheu, Jiuh-Biing (2008); Green Supply Chain Management, Reverse Logistics and Nuclear Power Generation, Transportation Research Part E 44, pp. 19–46.

Sheu, Jiuh-Biing, Chou, Yi-Hwa and Hu, Chun-Chia (2004); An Intergrated Logistics Operational Model for Green-Supply Chain Management, www.Elsevier.com.

Stokes, Stephen and Tohamy, Noha (2009); 7 Traits of a Green Supply Chain, Supply Chain Management Review, Vol. 13.

Trowbridge, Philip (2001); "A Case Study of Green Supply-Chain Management at Advanced Micro Device", GMI, Vol.35.

Trowbridge, P. (2003); A Case Study of Green Supply Chain Management at Advanced Micro Devices, Greenleaf Publication, Sheffield.

Tung, S.L., Tang, S.L., (1998); A Comparison of the Saaty's AHP and Modified AHP for Right and Left Eigenvector Inconsistency, *European Journal of Operational Research 106*, 123–128.

Vachon, S. and Klassen, R.D. (2006); Green Project Partnership in the Supply Chain: the Case of the Package Printing Industry, *Journal of Cleaner Production* 14, 661–671.

Webb, Andrew (2009); How Green is My Supply Chain? Logistics and Transport Focus, Vol. 11.

Wang, Fan. Xiaofan Lai. Ning Shi. (2011); "A Multi-Objective Optimization for Green Supply Chain Network Design", *Decision Support Systems*, 51, 262–269.

Yu, Ning (2001); The Creen Consumption Movement: The Roles of Government, Business, Academia, NGOs and Consumers, Conference on Enhancing Competitiveness Through Green Productivity, China, 25-27 May.

Zhu, Q. and Sarkis, J. (2004); Relationships Between Operational Practices and Performance Among Early Adopters of Green Supply Chain Management Practices in Chinese Manufacturing Enterprises, *Journal of Operations Management*, Vol. 22, No. 3, pp. 265-89.

Zhu, Qinghua, Sarkis, Joseph and Geng, Yong (2005); Green Supply Chain Management in China: Pressures, Practices and Performance, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25, No. 5, pp. 449-468.

Zhu, Qinghua, Sarkis, Joseph and Lai, Kee-hung, Kee-hung, Green Supply Chain Management: Pressures, Practices and Performance within the Chinese Automobile Industry, *Journal of Cleaner Production* 15, 2007, pp. 1041-1052.

Zhu, Qinghua, Sarkis, Joseph and Lai, Kee-hung (2008a); Green Supply Chain Management Implications for Closing the Loop, Transportation Research Part E, Vol. 44, PP. 1–18.

Zhu, Qinghua, Sarkis, Joseph, Cordeiro, James J. and Lai, Kee-hung (2008b); Firm-Level Correlates of Emergent Green Supply Chain Management Practices in the Chinese Context, Omega, Vol. 36, pp. 577 – 591.

Zhu, Qinghua, Sarkis, Joseph, Lai, Kee-hung and Geng, Yong (2008c); The Role of Organizational Size in the Adoption of Green Supply Chain Management Practices in China, Corporate Social Responsibility and Environmental Management, Nov/Dec, Vol. 15.