

## برآورد میزان بهینه اجتماعی گاز دی اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه و مالیات بهینه بر آن

سمیه امیر تیموری<sup>۱\*</sup>، صادق خلیلیان<sup>۲</sup>، حمید امیرنژاد<sup>۳</sup>، علی محبی<sup>۴</sup>

۱. دکتری اقتصاد منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس  
amirtaimoori@yahoo.com

۲. دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس  
khalil-s@modares.ac.ir

۳. دانشیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
hamidamirnejad@yahoo.com

۴. دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان  
amohebbi2002@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۰۸

### چکیده

مجتمع مس سرچشمه بزرگ‌ترین تولیدکننده مس در ایران است. همراه تولید مس، حجم عظیمی از گاز  $SO_2$  در این مجتمع تولید و وارد محیط می‌شود. لذا، در این مطالعه میزان بهینه اجتماعی  $SO_2$  منتشرشده از این مجتمع و نرخ مالیات بهینه بر آن برآورد شده است. بدین منظور، دو منحنی خسارت نهایی و هزینه نهایی کاهش آلودگی برآورد شدند. تمایل به پرداخت افراد برای کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع با استفاده از روش ارزش‌گذاری مشروط انتخاب دوگانه یک‌ونیم‌بعدی، به‌منظور برآورد منحنی خسارت نهایی، برآورد شد. به‌منظور برآورد منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی  $SO_2$  منتشرشده از این مجتمع، از روش اقتصادی-مهندسی استفاده شد. مقدار بهینه اجتماعی انتشار این گاز تقریباً  $۲۶۵۲۹۰/۶$  تن در سال و نرخ بهینه مالیات بر آن  $۱۲۸۱۵/۲$  ریال به ازای هر تن انتشار  $SO_2$  برآورد شد. لذا، اخذ مالیات  $۱۲۸۱۵/۲$  ریال به ازای هر تن انتشار گاز  $SO_2$  یا تعیین مقدار مجاز انتشار  $SO_2$  در سال، جهت کاهش این آلاینده پیشنهاد می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: C14، D71، H43، Q51، Q52، Q53

کلیدواژه‌ها: تخمین‌زن نیمه‌پارامتری توزیع آزاد، روش یک‌ونیم‌بعدی، سطح بهینه اجتماعی آلودگی، مالیات، مجتمع مس سرچشمه.

## ۱. مقدمه

اکثر منابع طبیعی و کالاهای زیست‌محیطی جزء دارایی‌های عمومی<sup>۱</sup> اند (Clinch and Covery, 1999). بنابراین، هیچ‌گونه انگیزه‌ای برای استفاده کارا از آن‌ها وجود ندارد، به دلیل اینکه فاقد بازارند. بنابراین، آثار جانبی به‌وجود می‌آیند و بازار در تخصیص کارایی منابع دچار شکست می‌شود (Ayres and Kneese, 1969).

یکی از مهم‌ترین آثار جانبی در بحث محیط زیست، مسئله آلودگی است. آلودگی هوا یکی از ابعاد آلودگی‌های زیست‌محیطی را تشکیل می‌دهد.

با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، حذف کامل آثار جانبی همانند آلودگی‌های محیط زیست، مطلوب و عملی نیست، زیرا معمولاً ناشی از فعالیت‌های تولیدی است که برای جامعه سودمند و مفیدند. از آنجا که بازار در بحث کالاهای زیست‌محیطی دچار شکست می‌شود، لذا لازم است میزان بهینه اجتماعی آلودگی را تعیین کرد و سطح آن را به سطح بهینه اجتماعی رساند. برای مثال، می‌توان آثار جانبی را ارزش‌گذاری و با اخذ مالیات درونی<sup>۲</sup> کرد تا بنگاه‌ها هزینه‌های اجتماعی<sup>۳</sup> را به جای هزینه‌های خصوصی<sup>۴</sup> بپردازند و سطح آلودگی به سطح بهینه اجتماعی آن برسد.

مجتمع مس سرچشمه یکی از بزرگ‌ترین مجتمع‌های صنعتی- معدنی جهان و بزرگ‌ترین تولیدکننده مس در ایران است که در ۶۵ کیلومتری جنوب غربی رفسنجان و ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان واقع شده است (میرحسینی، ۱۳۸۶). این مجتمع نقش مهمی در اقتصاد ایران دارد و سبب اشتغال‌زایی در استان کرمان به‌خصوص شهرستان رفسنجان شده است، به‌طوری‌که این مجتمع برای حدود ۸۰۰۰ نفر در ایران اشتغال ایجاد کرده و ۲۰۳۰۶۵ تن مس کاتدی در سال ۱۳۹۰ در این مجتمع تولید شده است (شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۹۰). با این حال، از آنجا که فناوری عمده موجود در مجتمع مس سرچشمه شامل عملیات ذوب و تولید مس در کوره‌های ریورب (شعله‌ای) و کنورتور پیرس- اسمیت است که کوره‌های شعله‌ای مس سرچشمه، آخرین

---

1. Public Goods  
2. Internalize  
3. Social Costs  
4. Private Costs

کوره‌های تولید مات از این نوع‌اند، حجم عظیمی از مواد آلوده‌کننده در این مجتمع، تولید و وارد محیط می‌شود. عمده‌ترین ماده آلوده‌کننده منتشرشده از کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه، گاز  $SO_2$  است، به طوری که میزان انتشار این گاز ۷۸۹/۹ تن در روز است (میرحسینی، ۱۳۸۶). حجم زیاد این گاز، تأثیر مهمی در شکل‌گیری باران‌های اسیدی و بروز مشکلات زیست محیطی متعدد دارد. این گاز بر موجودات، گیاهان و اجسام منطقه تأثیر می‌گذارد (شفیع‌زاده، ۱۳۸۶).

بر اساس اندازه‌گیری‌های اداره کل محیط زیست استان کرمان در سال‌های ۸۹-۱۳۸۸، غلظت گاز  $SO_2$  در محیط‌های اطراف مجتمع مس سرچشمه  $1/2-0/5$  ppm<sup>۱</sup> بوده است که بیش از مقدار استاندارد آن (۰/۱۴ ppm) است. به دلیل خسارت‌های واردشده به محصول‌های کشاورزی و دام‌ها و رواج برخی بیماری‌ها در مناطق اطراف این مجتمع، افراد منطقه تمایل به کاهش انتشار این گاز دارند.

هوا کالایی زیست محیطی است که ویژگی کالاهای عمومی را دارد؛ یعنی، مالکیت‌پذیر و تقسیم‌پذیر نیست. در نتیجه، هیچ انگیزه‌ای برای استفاده کارا از آن وجود ندارد. بنابراین، آثار جانبی همانند آلودگی هوا به وجود می‌آید و بازار در تخصیص کارای منابع، شکست می‌خورد. لذا، در این مطالعه، میزان بهینه اجتماعی  $SO_2$  منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه و نرخ مالیات بهینه بر آن برآورد شده است.

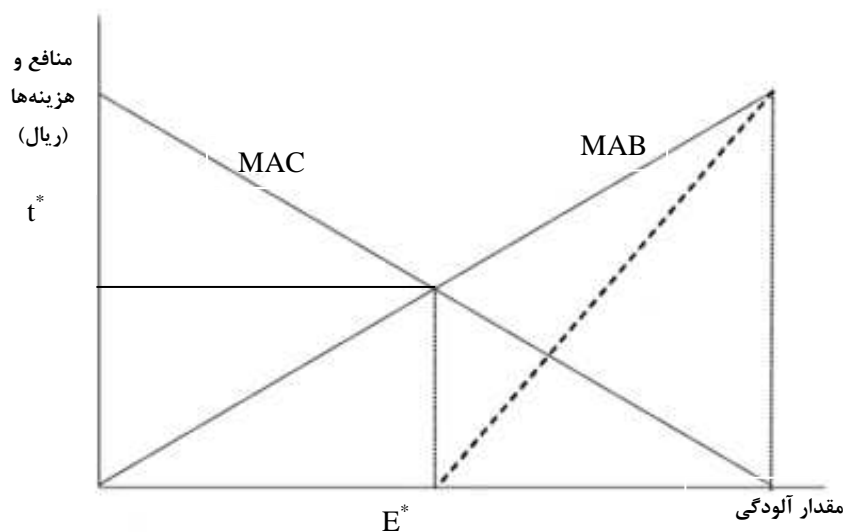
## ۲. متون پژوهشی

از نظر اجتماعی، سطحی از آلودگی (E) بهینه است که منافع خالص اجتماعی<sup>۲</sup> آلودگی (NB) را حداکثر کند. در واقع، میزان بهینه اجتماعی آلودگی ( $E^*$ ) جایی است که منفعت نهایی بنگاه از انتشار آلودگی با هزینه نهایی خسارات واردشده به دیگران ناشی از انتشار آلودگی، مساوی باشد (Hussen, 2004). یا به عبارت دیگر، سطح بهینه اجتماعی آلودگی، در نقطه تقاطع منحنی‌های هزینه نهایی کاهش آلودگی (MAC)<sup>۳</sup> و

---

1. Parts Per Million  
2. Net Social Benefit  
3. Marginal Abatement Cost

منفعت نهایی کاهش آلودگی (MAB)<sup>۱</sup> است. شکل ۱، میزان بهینه اجتماعی آلودگی را برای یک بنگاه نشان می‌دهد. قیمت تعادلی آلودگی ( $t^*$ ) قیمتی سایه‌ای و برابر با نرخ بهینه مالیات بر انتشار آلودگی است که اهمیت ویژه‌ای دارد.  $t^*$  قیمت کاربردی یک واحد آلودگی در سطح بهینه آلودگی و مساوی با زیان نهایی اجتماعی آلودگی است. چنانچه برای آلاینده‌ها بازار وجود داشت و بنگاه‌ها حق انتشار و خروج هر واحد آلاینده را خریداری می‌کردند، در این صورت  $t^*$  قیمت کارآمد بازار بود (ارباب، ۱۳۸۷).



شکل ۱. سطح بهینه اجتماعی آلودگی ( $E^*$ )

علی‌رغم اهمیت تعیین سطح بهینه اجتماعی آلودگی در سیاست‌گذاری‌های مربوط به کاهش آلودگی، تاکنون در داخل و خارج از کشور، مطالعه‌ای به برآورد میزان بهینه اجتماعی آلودگی و نرخ بهینه مالیات بر آن با استفاده از برابری منحنی هزینه نهایی خسارت آلودگی و هزینه نهایی کنترل آلودگی نپرداخته است. در داخل کشور، مطالعات اندکی در زمینه برآورد قیمت سایه‌ای آلودگی (مالیات بهینه بر هر واحد آلودگی) انجام شده و در خارج از کشور نیز مالیات بر آلودگی با استفاده از روش‌های دیگر برآورد شده است.

شجاعی (۱۳۸۹) نرخ مالیات سبز را در صنعت کاغذ در شش استان کشور برآورد و بدین منظور از روش تابع هزینه استفاد کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که نرخ مالیات سبز در این صنعت ۷/۲ درصد است.

اسماعیلی و محسن‌پور (۱۳۸۹) به تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور پرداختند. بدین منظور از روش تابع مسافت نهاده استفاده کردند. نتایج نشان داد که قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) و دی اکسید گوگرد به ترتیب ۱۴۹۹۰/۹ و ۱۷۶۸۳/۳ ریال به ازای هر تن است.

رکا (۲۰۱۱) به بررسی قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در چکوسلواکی پرداخت. بدین منظور از روش تابع فاصله نهاده استفاده کرد. نتایج نشان داد که قیمت سایه‌ای آلاینده‌های  $PM$ ،  $SO_2$ ،  $NO_x$  و  $CO$  به ترتیب ۸۳۷۴، ۱۱۹۸، ۲۸۰۵ و ۶۰۵۱ یورو به ازای هر تن است (Rečka, 2011).

مکارونرنگ و جوهانسون (۲۰۱۲) به منظور برآورد قیمت سایه‌ای  $SO_2$  و  $NO_x$  در صنایع تولید زغال سنگ آمریکا، از روش تابع فاصله ستاده استفاده کردند. نتایج نشان داد که متوسط قیمت سایه‌ای  $SO_2$ ، ۳۴۳-۲۰۱ دلار به ازای هر تن و متوسط قیمت سایه‌ای  $NO_x$ ، ۱۳۵۲-۴۰۹ دلار به ازای هر تن متغیر است (Mekaroonreung and Johnson, 2012).

تاکنون در داخل کشور، مطالعه‌ای در خصوص برآورد منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی انجام نشده ولی در خارج از کشور، مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها که از روش اقتصادی- مهندسی استفاده کرده‌اند اشاره می‌کنیم.

کاروسنجا و جوهانسون (۲۰۰۳) منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی  $NO_x$  و  $SO_2$  را برای صنایع فنلاند با استفاده از روش اقتصادی- مهندسی برآورد و بدین منظور از مدل RAINS استفاده کردند. در این مطالعه پنج فناوری برای کنترل  $NO_x$  و  $SO_2$  در نظر گرفته شده است (Karvosenoja and Johansson, 2003).

ویجی و همکاران (۲۰۱۰) به برآورد منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی  $NO_x$  پرداختند. بدین منظور از روش اقتصادی- مهندسی و از رهیافت از پایین به بالا استفاده

کردند. در این مطالعه یک دوره زمانی بیست ساله و نرخ بهره ۷٪، همچنین پنج فناوری برای کاهش آلودگی در نظر گرفته شده است (Vijay et al., 2010).

در ایران، مطالعه‌ای در زمینه برآورد منحنی هزینه خسارت نهایی آلودگی (منفعت نهایی کاهش آلودگی) انجام نگرفته است. همچنین، از روش یک و نیم بعدی و تخمین زن نیمه پارامتری توزیع آزاد به منظور برآورد میزان تمایل به پرداخت افراد برای کاهش آلودگی استفاده نشده است. ولی، مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در زمینه برآورد میزان تمایل به پرداخت افراد برای کاهش آلودگی انجام گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

وانگ و مولایی (۲۰۰۶) به برآورد تمایل به پرداخت ساکنان چین در بهبود کیفیت هوا پرداختند. بدین منظور از روش ارزش گذاری مشروط (CV)<sup>۱</sup> استفاده کردند. در این مطالعه، اطلاعات از طریق نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای و با استفاده از نمونه ۵۰۰ نفری و مصاحبه حضوری جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که ۹۶ درصد افراد تمایل به پرداخت برای بهبود کیفیت هوا دارند و متوسط تمایل به پرداخت برای بهبود کیفیت هوا ۳۴۴۵۸ دلار در سال است (Wang and Mullahy, 2006).

دیسگس و همکاران (۲۰۱۱) ارزش اقتصادی مرگ و میرهای ناشی از آلودگی هوا را با استفاده از روش ارزش گذاری مشروط برآورد و بدین منظور از نه کشور اروپایی شامل فرانسه، اسپانیا، بریتانیا، دانمارک، آلمان، سوئیس، چک، اسلواکی و لهستان نمونه‌ای ۱۴۶۳ نفری انتخاب کردند. بر اساس نتایج مطالعه، ارزش یک سال زندگی، حداقل ۲۵۰۰۰ یورو، حداکثر ۱۰۰۰۰۰ یورو و به‌طور متوسط ۴۰۰۰۰ یورو برآورد شد (Desaigues et al., 2011).

خوش‌اخلاق و حسن‌شاهی (۱۳۸۱) میزان تمایل به پرداخت ساکنان شیراز در کاهش آلودگی هوا را برآورد و بدین منظور از روش ارزش گذاری مشروط استفاده کردند. در این مطالعه، نمونه ۷۵۰ خانواری به‌طور تصادفی و با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای انتخاب شده است. نتایج نشان داد که متوسط تمایل به پرداخت سالانه هر شهروند شیرازی برای جلوگیری از بدتر شدن کیفیت هوا، مبلغ ۲۹۲۷ ریال است.

1. Contingent Valuation

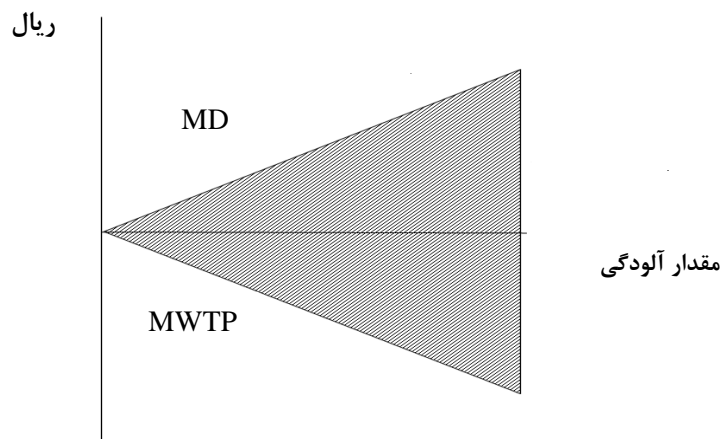
بهجتی و همکاران (۱۳۸۹) به برآورد ارزش هوای پاک در تهران، با استفاده از روش ارزش‌گذاری مشروط پرداختند. در این مطالعه نمونه ۱۰۱۰ نفری از ساکنان شهر تهران بر اساس روش نمونه‌گیری تصادفی انتخاب و مصاحبه‌ی چهره‌به‌چهره با افراد انجام گرفته است. نتایج نشان داد که ۵۵/۷ درصد از افراد متمایل به پرداخت بودند و میانگین ماهانه تمایل به پرداخت برای هر نفر ۳۵۰۰ ریال برآورد شده است.

### ۳. روش تحقیق

به منظور برآورد میزان بهینه اجتماعی  $SO_2$  منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه و مالیات بهینه بر آن، ابتدا باید دو منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی و منفعت نهایی کاهش آلودگی برآورد شوند.

#### ۱.۳. منحنی منفعت نهایی کاهش آلودگی

یکی از مباحث مهم در رابطه با میزان کاهش آلودگی و اتخاذ سیاست‌های کنترل آلودگی، برآورد خسارات ناشی از انتشار آلودگی یا منافع ناشی از کاهش آلودگی است.



شکل ۲. رابطه بین تمایل به پرداخت برای کاهش آلودگی و خسارات ناشی از آلودگی

شکل ۲ نشان می‌دهد که خسارات وارد شده به افراد در اثر انتشار آلودگی برابر با تمایل به پرداخت افراد برای کاهش آلودگی و خسارت نهایی ناشی از آلودگی برابر با

تمایل نهایی به پرداخت برای کاهش آلودگی است. طبق نظریه معمول اقتصاد، تابع خسارت نهایی آلودگی (تمایل نهایی به پرداخت برای کاهش آلودگی) تابعی صعودی، پیوسته و محدب است (Kolstad, 2000).

در این مطالعه، به منظور تخمین خسارات ناشی از انتشار گاز SO<sub>۲</sub> یا منفعت ناشی از کاهش انتشار آن، تمایل به پرداخت افراد با استفاده از روش ارزش گذاری مشروط (CV) انتخاب دوگانه<sup>۱</sup> یک و نیم بعدی برآورد شده است.

یکی از بخش‌های بسیار مهم در روش CV، تعیین روش استخراج ارزش کالاها و خدمات است (Mitchell and Carson, 1989). روش استخراج اطلاعات در مطالعات CV، متفاوت است، از جمله الف) بازی پیشنهاد<sup>۲</sup>، ب) کارت پرداخت<sup>۳</sup> (PC)، ج) فرمت باز- بسته<sup>۴</sup> (OE) و د) انتخاب دوگانه<sup>۴</sup> (DC) (Boyle et al., 1996). روش انتخاب دوگانه<sup>۵</sup> دو بعدی (DB) به دلیل کارایی آماری، در سال‌های اخیر از پذیرش زیادی برخوردار و به صورت گسترده به کار گرفته شده است (امیرنژاد، ۱۳۸۴). البته انتقادهایی نیز به این روش وارد شده مبنی بر اینکه در برخی موارد مشاهده شده که جواب سؤال‌های اول و دوم ناسازگارند. بدین دلیل، شکل دیگری از روش انتخاب دوگانه را کوپر و همکاران (۲۰۰۲) مطرح کردند که به آن روش انتخاب دوگانه<sup>۶</sup> یک و نیم بعدی (OOHB) گویند. در این مطالعه نیز از روش OOHB استفاده شده است.

### ۳.۱.۱. روش انتخاب دوگانه یک و نیم بعدی

در روش OOHB فرد پاسخگو از ابتدا با طیف هزینه<sup>۱</sup>  $[B_i^D, B_i^U]$  مواجه می‌شود، به طوری که  $B_i^D$ ، قیمت کمتر و  $B_i^U$  قیمت بالاتر است  $[B_i^D < B_i^U]$ . ابتدا، یکی از این دو قیمت به صورت تصادفی انتخاب و از فرد خواسته می‌شود تا تمایل به پرداخت خود را در مقایسه با قیمت پیشنهادی بیان کند. قیمت پیشنهادی دوم تنها در صورتی مطرح خواهد

- 
1. Bidding Game
  2. Payment Card
  3. Open- Ended
  4. Dichotomous Choice
  5. Double Bound
  6. One- and- One- Half- Bounded Dichotomous Choice



شد که با جواب سؤال اول، تطابق و سازگاری داشته باشد؛ یعنی، اگر قیمت کمتر ( $B_i^D$ ) به طور تصادفی پیشنهاد اولیه انتخاب شود، سه نتیجه در ادامه آن وجود خواهد داشت {خیر} ( $N$ )، {بله} ( $Y$ )، {خیر} و {بله، بله}. اگر قیمت بالاتر ( $B_i^U$ ) به طور تصادفی پیشنهاد اولیه انتخاب شود، نتایج عبارت‌اند از {بله}، {خیر، بله} و {خیر، خیر}. در این صورت توابع احتمال متناظر با پاسخ‌های فوق به صورت روابط زیر خواهد بود:

$$\pi_i^N = \pi_i^{NN} \equiv \text{pr}\{C_i \leq B_i^D\} = G(B_i^D; \theta) \quad (1)$$

$$\pi_i^{YN} = \pi_i^{NY} \equiv \text{pr}\{B_i^D \leq C_i \leq B_i^U\} = G(B_i^U; \theta) - G \quad (2)$$

$$\pi_i^{YY} = \pi_i^Y \equiv \text{pr}\{B_i^U \leq C_i\} = 1 - G(B_i^U; \theta) \quad (3)$$

بنابراین، لگاریتم راست‌نمایی براساس جواب‌های بالا در فرمت OOHb به صورت رابطه ۴ خواهد شد.

$$\ln L^{OOHB}(\theta) = \sum_{i=1}^N \left[ d_i^Y \ln[1 - G(B_i^U; \theta)] + d_i^{NY} \ln[G(B_i^U; \theta) - G(B_i^D; \theta)] + d_i^{NN} \ln[G(B_i^D; \theta)] \right] \quad (4)$$

اگر  $d_i^Y = 1$  شروع با  $B_i^D$  و جواب (بله، بله) باشد یا شروع با  $B_i^U$  و جواب (بله) باشد. در غیر این صورت صفر می‌شود.

اگر  $d_i^{NY} = 1$  شروع با  $B_i^D$  و جواب (بله، خیر) باشد یا شروع با  $B_i^U$  و جواب (خیر، بله) باشد. در غیر این صورت صفر می‌شود.

اگر  $d_i^{NN} = 1$  شروع با  $B_i^D$  و جواب (خیر) باشد یا شروع با  $B_i^U$  و جواب (خیر، خیر) باشد. در غیر این صورت صفر می‌شود.

نتایج MLE که به صورت  $\hat{\theta}^{OOHB}$  است با استفاده از ماتریس اطلاعات  $I^{OOHB} \hat{\theta}^{OOHB}$  حاصل از معکوس ماتریس هیشین تابع حداکثر راست‌نمایی در معادله بالا حاصل می‌شود (Cooper et al., 2002).

- 
1. No
  2. Yes

۳.۱.۲. تخمین‌زن نیمه پارامتری توزیع آزاد<sup>۱</sup> (SNPDF)

به‌طور معمول در مدل‌های ارزش‌گذاری مشروط، از روش پارامتری با فرض‌های خاصی درباره شکل تابع و توزیع آن در تخمین پارامترها استفاده می‌شود (مانند مدل لوجیت و پروبیت). روش‌های پارامتری بر اساس فرض‌های مبتنی بر شکل مناسب تابع و توزیع دقیق باعث ایجاد تخمین‌زن‌های کارایی نسبت به روش‌های غیرپارامتری می‌شوند. ولی اگر این فروض صحیح نباشند، سبب ایجاد تخمین‌زن‌های ناسازگار و تورش‌دار خواهند شد. توصیه‌های نظری ضعیفی برای انتخاب شکل تابع و توزیع آن وجود دارد ( Creel and Loomis, 1997). لذا، در این مطالعه از تخمین‌زن نیمه‌پارامتری توزیع آزاد (SNPDF) به‌منظور اجتناب از ناسازگاری تخمین‌زن‌ها استفاده شده است. این تخمین‌زن قادر است بدون نیاز به فرض‌های خاص درباره شکل تابع و توزیع آن، رفاه را اندازه‌گیری کند.

تابع مطلوبیت غیرمستقیم فرد را به‌صورت  $u = u(z, y, x, \varepsilon)$  در نظر می‌گیریم، به‌طوری‌که  $z=1$  بیانگر بهبود کیفیت محیط زیست (در اینجا بهبود کیفیت هوا) و  $z=0$  برای عدم بهبود است.  $x, y$  و  $\varepsilon$  به‌ترتیب بردار مشخصه‌های اجتماعی و اقتصادی فرد، درآمد فرد و جزء تصادفی تابع مطلوبیت غیرمستقیم است. با اینکه فرد مطلوبیت خود را به‌طور یقین می‌داند، تابع مطلوبیت برای پرسشگر به دلیل قابل مشاهده نبودن تمامی اجزای آن تصادفی است. بنابراین، تابع مطلوبیت غیرمستقیم فرد دارای دو جزء است. یک جزء آن تصادفی ( $\varepsilon_1$  و  $\varepsilon_2$ ) و جزء دیگر غیرتصادفی ( $v_1$  و  $v_2$ ) است. بنابراین، تابع مطلوبیت غیرمستقیم از دیدگاه اقتصادسنجی، متغیر تصادفی و دارای توزیع احتمال است. فرد در صورتی مبلغ پیشنهادی را برای بهبود کیفیت محیط زیست می‌پذیرد که داشته باشیم:

$$v(1, y - B, x) + \varepsilon_1 \geq v(0, y, x) + \varepsilon_2 \quad (5)$$

$v$  و  $B$  به ترتیب مطلوبیت غیرمستقیم و قیمت پیشنهادی برای بهبود کیفیت محیط

1. Semi-Non Parametric Distribution-Free

۲. اندیس یک، برای وضعیت بهبود کیفیت محیط زیست (در اینجا بهبود کیفیت هوا) و اندیس صفر، برای عدم بهبود در نظر گرفته شده است.

زیست‌اند.  $\varepsilon_1$  و  $\varepsilon_2$  متغیرهای تصادفی با میانگین صفر و توزیع مستقل‌اند. تفاوت مطلوبیت به صورت ذیل تعریف می‌شود (Hanemann, 1984):

$$\Delta v = v(\cdot, y, x) - v(\cdot, y - B, x) \quad (6)$$

$\Delta V$  قسمت غیر تصادفی تابع مطلوبیت و  $\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$  قسمت تصادفی آن است. اگر  $F_\varepsilon$  را تابع توزیع  $\varepsilon$  و بردار  $w$  را  $w=(y,x)$  و تمایل به پرداخت فرد را  $CV$  در نظر بگیریم، بنابراین احتمال اینکه فرد مقدار پیشنهادی  $B$  را بپذیرد عبارت است از:

$$p(w, B) = F_\varepsilon(\Delta V) = \text{pr}(B < CV) \quad (7)$$

جداگانه تخمین‌زدن و تصریح جداگانه  $F_\varepsilon$  و  $\Delta V$  موجب پیچیدگی و اشتباه در تصریح خواهد شد. فرض کنید تابع توزیع لوجیت به صورت  $\Delta(\vartheta) = [1 + \exp(-\vartheta)]^{-1}$  مفروض باشد که پیوسته و اکیداً صعودی و در نتیجه معکوس‌پذیر است. اگر تابع را به صورت  $h(w, B) = \Delta[F_\varepsilon(\Delta V)]$  تعریف کنیم، پس برای  $B$  و  $W$  خواهیم داشت  $p(w, B) = \Delta(h) = F_\varepsilon(\Delta V)$ . مزیت این انتقال این است که در فرم ثانویه، تابع  $h(w, B)$  توزیع نامعلوم دارد ولی دارای تصریح تصادفی تابع لوجیت است. بنابراین، می‌توان از روش حداکثر راست‌نمایی برای تخمین استفاده کرد (Creel and Loomis, 1997). مطابق بررسی‌های Gallant (۱۹۸۲)، بهترین شکل تابع  $h(w, B)$ ، استفاده از شکل انعطاف‌پذیر تابع فوریه<sup>۱</sup> است. تابع انعطاف‌پذیر فوریه به طور اساسی با سایر اشکال توابع انعطاف‌پذیر متفاوت است. به طوری که تعداد پارامترها می‌تواند متغیر باشد. تحمیل حداقل فروض از پیش تعیین شده، نیز یکی دیگر از مزایای این تابع است. با توجه به مطالب ذکر شده، مدل مورد استفاده در این مطالعه به صورت رابطه ۸ است.

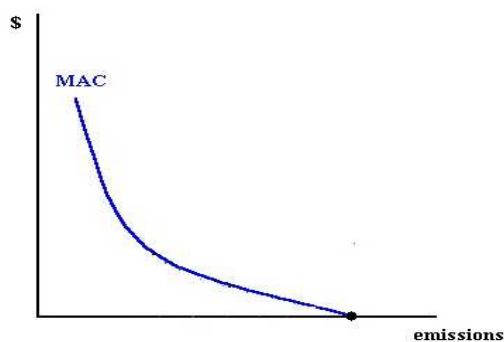
$$\Delta V = \sum_{a \in V} \beta_a \ln a + \sum_{a \in V} u_a \cos s_a(\ln a) + \sum_{a \in V} v_a \sin s_a(\ln a) \quad (8)$$

که در آن بردار  $v$  شامل متغیرهای درآمد، سن، تحصیلات و قیمت پیشنهادی است.  $s_a(\ln a)$  تابع انتقال است که در مقادیر  $a \in V$ ، تابع را در فاصله کمتر از  $2\pi$  قرار می‌دهد.

این کار برای جلوگیری از تناوب مدل ضروری است. بنابراین، نتایج تخمین مدل نه تنها آثار متغیرهای درآمد، سن، تحصیلات و قیمت پیشنهادی را نشان می‌دهد، بلکه روابط غیرخطی بین متغیرها را نیز نشان خواهد داد (Gallant, 1982).

### ۲.۳. منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی

برای یک بنگاه، منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی (MACC)، هزینه کاهش یک واحد اضافی از آلودگی را در سطح مشخصی از آلودگی نشان می‌دهد (Vijay, 2010). MACC ابزاری کلیدی در بحث‌های اقتصاد محیط زیست و تعیین سطح بهینه آلودگی است (McKittrick, 1999). منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی در شکل ۳ نشان داده شده است. محور افقی، انتشار آلودگی و محور عمودی هزینه به ازای هر واحد کاهش آلودگی را نشان می‌دهند. این منحنی شیب منفی و نزولی دارد.



شکل ۳. منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی (MACC)

به‌طور کلی، روش‌های تخمین هزینه کاهش آلودگی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: ۱. روش‌های مبتنی بر نظریه‌های اقتصاد خرد ۵ همانند رهیافت تابع هزینه ۶ (Gollop and Roberts, 1985) و رهیافت تابع فاصله ۷ (Fare et al., 1993; Park and Lim, 2009)، ۲. روش‌های اقتصادسنجی ۸ (Becker, 2005; Hartman et al., 1997)، ۳. روش‌های اقتصادی - مهندسی ۹ (Beaumont and Tinch, 2004; Vijay et al., 2010). در رهیافت تابع هزینه، آلودگی همراه با نیروی کار، انرژی و سرمایه به‌عنوان نهاده

در فرایند تولید لحاظ می‌شود. هزینه نهایی کاهش آلودگی با تخمین تغییر در تابع هزینه به ازای تغییر در سطح آلودگی برآورد می‌شود. Fare و همکاران (۱۹۹۳) رهیافت تابع فاصله ستاده را مطرح کردند و اخیراً به‌طور گسترده‌ای به کار گرفته شده است. در این رهیافت قیمت سایه‌ای یا هزینه فرصت کاهش یک واحد آلودگی نشان‌دهنده هزینه نهایی کاهش آلودگی است. در دو رهیافت مذکور (رهیافت تابع هزینه و رهیافت تابع فاصله ستاده) هزینه کاهش آلودگی با در نظر گرفتن کاهش آلودگی از طریق کاهش محصول برآورد می‌شود. در این دو رهیافت فناوری‌های کاهش آلودگی به‌طور صریح ملاحظه نمی‌شوند. در حالی که ممکن است با در نظر گرفتن فناوری‌های کاهش آلودگی، هزینه نهایی کاهش آلودگی کمتری نسبت به قیمت سایه‌ای برآورد شده با استفاده از این دو رهیافت برآورد شود.

MACC همچنین با مدل‌های اقتصادسنجی برآورد می‌شود. این روش نیازمند اطلاعات گسترده‌ای در سطح بنگاه همانند مخارج سرمایه‌ای، هزینه‌های نصب و تعمیر تجهیزات کنترل آلودگی است. در این روش هزینه کاهش آلودگی با استفاده از مدل‌های آماری تخمین زده می‌شود. یکی از نکات ضعف این روش، همچنین روش‌های مبتنی بر نظریه‌های اقتصاد خرد این است که نمی‌توان هزینه کاهش آلودگی را به فناوری خاصی نسبت داد.

آخرین روش تخمین MACC، استفاده از مدل‌های اقتصادی - مهندسی است. این مدل‌ها نیازمند اطلاعات تکنیکی بنگاه، اطلاعات فناوری‌های کنترل و هزینه آن‌ها، همچنین فهم کامل تکنیکی ساخت و نگهداری فناوری‌های کنترل آلودگی است. علی‌رغم اینکه روش‌های اقتصادی و اقتصادسنجی اطلاعات مفیدی را برای تجزیه و تحلیل‌های نظری و سیاستگذاران فراهم می‌کنند، ولی این اطلاعات به‌ندرت برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان بنگاه مفید است، به‌دلیل اینکه ویژگی‌های بنگاه و فناوری آن را منعکس نمی‌کنند. روش‌های اقتصادی - مهندسی جزئیات فناوری‌های مختلف را برای کاهش آلودگی در سطح یک بنگاه نشان می‌دهند و اطلاعات به‌دست آمده از این روش برای مدیران بنگاه نیز مفید و کاربردی است (Vijay, 2010). لذا، در این مطالعه از روش اقتصادی - مهندسی و از روش گام‌به‌گام به شرح زیر استفاده شده است (Wickborn, 1996; Beaumont and Tinch, 2004):

۱. جستجو در خصوص تکنیک‌های کنترل آلودگی؛
۲. محاسبه هزینه کل و پتانسیل کاهش آلودگی برای تکنیک‌های مختلف و تعیین امکان ترکیب و عدم سازگاری آن‌ها؛
۳. استاندارد کردن داده‌ها؛
۴. استخراج منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی.

#### ۴. نمونه‌گیری و پرسشنامه

در این مطالعه، افراد ساکن در مناطق اطراف مجتمع مس سرچشمه به‌عنوان جامعه بررسی شدند که غلظت گاز  $SO_2$  در آن مناطق بیش از حد استاندارد ( $365 \mu g/m^3$ ) بود (مناطق از شهرستان‌های رفسنجان، شهربابک و سیرجان). غلظت گاز  $SO_2$  در این مناطق متفاوت و در نتیجه تمایل به پرداخت افراد نیز بر اساس غلظت این گاز و خسارات متحمل شده متفاوت است. لذا، برای نمونه‌گیری، از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای<sup>۱</sup> استفاده و شش طبقه در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که غلظت گاز  $SO_2$  در طبقات ۱ تا ۶ به ترتیب ۳۰، ۲۰، ۱۲/۵، ۶/۵، ۲/۵ و ۱/۵ برابر حد استاندارد بود.

به‌منظور آگاهی از صفات طبقه‌های جامعه مورد مطالعه، تعیین تعداد نمونه همچنین اصلاح و بررسی پایایی پرسشنامه، در هر یک از طبقات پیش مطالعه‌ای<sup>۲</sup> انجام و بدین منظور در هر یک از طبقه‌ها ۲۵ پرسشنامه تکمیل شد. نتایج پیش مطالعه نشان داد که تقریباً همه افراد پاسخگو توانسته‌اند به پرسش‌ها پاسخ دهند. با اندکی تغییر، پرسشنامه نهایی تهیه شد. به منظور آزمون پایایی<sup>۳</sup> پرسشنامه، ضریب اعتبار آلفای کرونباخ ۰/۸۵ برای پرسشنامه به‌دست آمد که نشان می‌دهد سؤال‌ها اعتبار بالایی دارند.

از جامعه ۳۲۵۱۲ خانواری و بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از پیش مطالعه، حجم نمونه کل برابر با ۲۱۴۳ خانوار و حجم نمونه در هر طبقه نیز به ترتیب ۴۱، ۵۲، ۷۳، ۱۱۵، ۷۰۸ و ۱۱۵۴ خانوار تعیین و در هر یک از طبقات به روش تصادفی ساده نمونه‌گیری شد. تجربه نشان داده است که گاه به دلایل گوناگون، امکان دسترسی به

---

1. Stratified Sampling  
2. Pilot study  
3. Reliability

فرد نمونه وجود ندارد. محقق باید برای چنین رویدادی، پیش‌بینی لازم را به‌عمل آورد. در غیر این صورت، حجم نمونه کاهش خواهد یافت و کار تعمیم را دچار مشکل خواهد کرد (حافظ‌نیا، ۱۳۸۹). لذا، در این مطالعه ۵ درصد به حجم نمونه افزوده شد. آمار و اطلاعات لازم از طریق تکمیل پرسشنامه و با مصاحبه رو در رو با افراد در سال ۱۳۹۱ جمع‌آوری شد. تکمیل پرسشنامه‌ها حدود پنج ماه (خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر) به‌طول انجامید. پرسشنامه مذکور در چهار بخش طراحی شد. در بخش اول، سؤال‌های مربوط به ویژگی‌های شخصی، اجتماعی و اقتصادی پاسخگو و در بخش دوم سؤال‌های مربوط به نگرش پاسخگو به انتشار بیش از حد گاز  $SO_2$  از مجتمع مس سرچشمه مطرح شد. در بخش سوم، بروشور اطلاعاتی در مورد انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع و آثار آن در اختیار پاسخگو قرار گرفت. در بخش چهارم، سؤال‌های مربوط به تمایل به پرداخت افراد مطرح شد. به‌منظور انجام برآوردها و عملیات آماری مختلف از نرم‌افزارهای 9 GAUSS، SPSS و EXCEL استفاده شده است.

## ۵. تحلیل نتایج

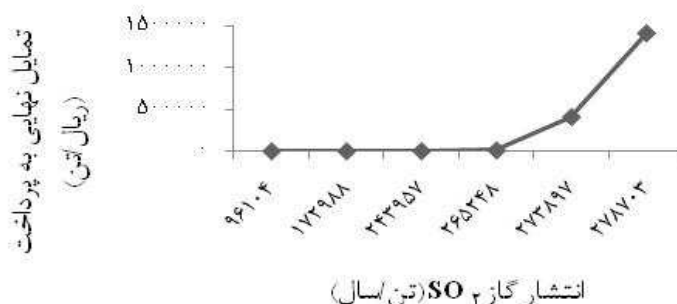
به‌منظور محاسبه تمایل به پرداخت افراد برای کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از مجتمع مس سرچشمه با استفاده از روش CV، تعداد ۲۲۰۳ پرسشنامه دوگانه یک و نیم بعدی توزیع و تکمیل شد. ۲۱۵۸ پرسشنامه تجزیه و تحلیل شد و بقیه پرسشنامه‌ها به‌دلیل عدم درک سؤال‌ها یا نقص جواب‌ها کنار گذاشته شدند. علی‌رغم مسائل و مشکلات به‌وجود آمده و ناشی از انتشار بیش از حد این گاز در مناطق مختلف، تنها ۱/۲ درصد از پاسخگویان تمایل به تعطیل شدن این مجتمع داشتند. دلیل اصلی آن‌ها برای تعطیل نشدن این مجتمع، اشتغال‌زایی بیان شد. ۸۷/۳ درصد از پاسخگویان حاضر به پرداخت مبلغی برای کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع بودند و ۱۲/۷ درصد از پاسخگویان مبلغ پیشنهادی را نپذیرفتند. ۶۸/۶ درصد از افرادی که حاضر به پرداخت مبلغ پیشنهادی نبودند زن و ۳۱/۴ درصد مرد بودند. با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از پرسشنامه‌ها، مدل SNPDF برای طبقه‌های مختلف برآورد شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده، متغیر قیمت پیشنهادی در تمامی

مدل‌ها دارای علامت انتظاری منفی و معنادار بود و نشان‌دهنده این است که با افزایش (کاهش) قیمت پیشنهادی، احتمال پذیرش قیمت کاهش (افزایش) می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد که متغیر تحصیلات، اثر مثبت و معناداری بر احتمال پذیرش قیمت پیشنهادی دارد و نشان‌دهنده این است که با افزایش سطح سواد، سطح آگاهی مردم نیز بالا می‌رود و از خطرهای آلودگی هوا آگاه می‌شوند و تمایل به پرداخت بیشتری برای جلوگیری از آن دارند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، متغیر سن اثر مثبت و معناداری بر احتمال پذیرش قیمت پیشنهادی برای کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع داشت. مطابق انتظار، افراد مسن تمایل به پرداخت بیشتری دارند، زیرا با مشکل آلودگی هوا بیشتر مواجه‌اند، به‌خصوص اینکه شاهد زمان‌هایی بوده‌اند که هوا آلوده نبوده است. ضرایب متغیر درآمد نیز در تمامی مدل‌ها مثبت و معنادار بود و نشان می‌دهد که با افزایش درآمد، میزان تمایل به پرداخت افراد برای بهبود کیفیت هوا افزایش می‌یابد.

طبق نتایج به‌دست‌آمده، متوسط تمایل به پرداخت برای هر خانوار جهت کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع در طبقه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب ۳۷۲۶۹۰، ۲۵۷۹۱۰، ۲۰۵۱۷۰، ۱۳۴۳۷۰ و ۱۰۵۸۰۰ ریال در سال و متوسط تمایل به پرداخت هر خانوار در تمامی مناطق برای کاهش انتشار این گاز ۲۷۱۲۰۲ ریال در سال برآورد شد. همچنین، میزان تمایل به پرداخت کل خانوارها جهت کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع ۸۸۱۷۳۱۹۴۲۴ ریال در سال برآورد شد و نشان‌دهنده این است که بهبود کیفیت هوا ناشی از کاهش انتشار گاز  $SO_2$  برای افراد منطقه از ارزشی معادل ۸۸۱۷۳۱۹۴۲۴ ریال در سال برخوردار است.

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های SNPDF و میزان انتشار گاز  $SO_2$  در هر منطقه، تمایل نهایی به پرداخت جهت کاهش انتشار گاز  $SO_2$  (خسارت نهایی ناشی از انتشار گاز  $SO_2$ ) برآورد شد. شکل ۴ منحنی تمایل نهایی به پرداخت جهت کاهش انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع را نشان می‌دهد. این منحنی مطابق نظریه و انتظار نسبت به مبدأ مختصات محدب است و شیب مثبت و افزایشی دارد، به‌طوری‌که با افزایش میزان انتشار گاز  $SO_2$ ، میزان تمایل به پرداخت جهت کاهش آلودگی هر بار بیشتر از قبل افزایش می‌یابد.





شکل ۴. منحنی تمایل نهایی به پرداخت جهت کاهش انتشار گاز SO<sub>2</sub> (خسارت نهایی ناشی از انتشار گاز SO<sub>2</sub>)

به منظور برآورد منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی، ابتدا روش‌های کنترل SO<sub>2</sub> بررسی شد. دو روش اصلی کنترل نشر SO<sub>2</sub> عبارت‌اند از: ۱. حذف گوگرد از سوخت قبل از سوزانده شدن و یا ۲. بازیافت SO<sub>2</sub> از گازهای خروجی (رحیمی و نیک‌سییر، ۱۳۸۹). به دلیل اینکه مقدار ناچیزی از SO<sub>2</sub> منتشرشده از دودکش‌های کارخانه ذوب مجتمع مس سرچشمه ناشی از سوخت است (۱/۴۱٪). لذا، در این مطالعه، روش‌های بازیافت SO<sub>2</sub> از گازهای خروجی بررسی شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده و شرایط حاکم بر مجتمع مس سرچشمه، پنج روش بازیافت SO<sub>2</sub> از گازهای خروجی که از لحاظ تجاری نیز در دسترس‌اند به شرح ذیل انتخاب شدند:

۱. روش اکسایش اجباری، ۲. چی یودا، ۳. خشک کردن پاششی آهک، ۴. کارخانه اسید سولفوریک، ۵. اسکرابر آمونیاک.

روش‌های کنترل SO<sub>2</sub> با نام‌های A تا E در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. جدول ۱، کارایی حذف SO<sub>2</sub>، هزینه سرمایه‌گذاری<sup>۱</sup> و هزینه بهره‌برداری و نگهداری<sup>۲</sup> را برای هر یک از روش‌های کنترل SO<sub>2</sub> نشان می‌دهد. از روش ارزش فعلی<sup>۳</sup> به منظور استاندارد کردن داده‌ها و محاسبه خالص ارزش فعلی هزینه‌ها استفاده شد. نرخ تنزیل ۲۰٪ و عمر مفید ماشین‌آلات و تجهیزات نیز ۱۵ سال در نظر گرفته شد.

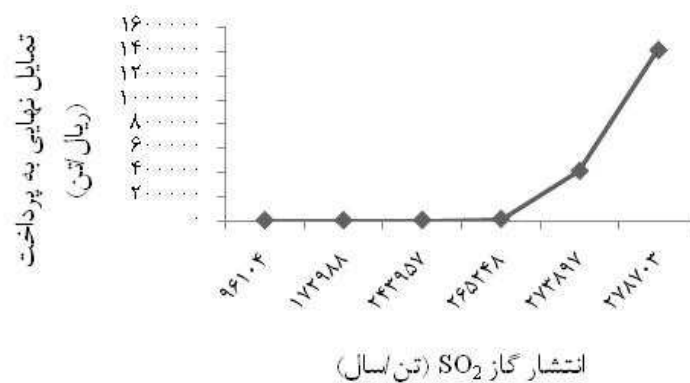
1. Capital Cost  
2. Operation and Maintenance Cost  
3. Present Value Method

شکل ۵، منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی را برای کنترل  $SO_2$  منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه نشان می‌دهد که نشان‌دهنده هزینه کاهش یک تن اضافی از  $SO_2$  در هر سطح مشخصی از  $SO_2$  است. این منحنی نسبت به مبدأ مختصات، محدب و شیب آن منفی و نزولی است و نشان می‌دهد که با انتشار بیشتر  $SO_2$  هر بار مقدار کمتری از هزینه کاهش آلودگی، کاهش می‌یابد. یا به عبارت دیگر با کاهش انتشار  $SO_2$ ، هزینه کاهش آلودگی هر بار مقدار بیشتری افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، هزینه نهایی کاهش آلودگی از ۴۴/۹۴ تا ۳۵۶۹۹/۹۵ هزار ریال به ازای هر تن متغیر است.

جدول ۱. داده‌های هزینه و کارایی حذف برای روش‌های مختلف کنترل  $SO_2$  در مجتمع مس سرچشمه

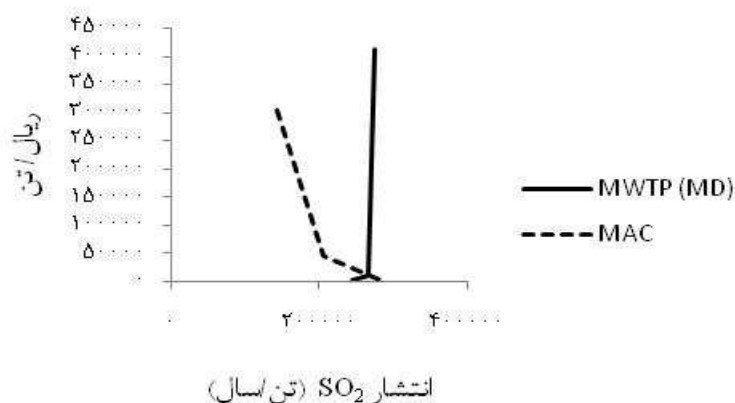
روش	کارایی حذف (درصد)	هزینه سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)	هزینه بهره‌برداری و نگهداری (میلیون ریال)
A	۹۸	۶۷۴۲۴۵	۱۵۰۴۱۸۰
B	۹۵	۴۹۰۳۶۰	۱۲۶۷۹۳۰
C	۵۰	۳۹۲۲۸۸	۵۷۸۳۲/۷۴
D	۹۵	۲۶۹۶۹۸	۳۹۳۵۹/۳۰
E	۹۷	۳۸۰۸۰/۶۰	۶۹۳۵۱/۷۶

مأخذ داده‌ها: مجتمع مس سرچشمه



شکل ۵. منحنی هزینه نهایی کاهش  $SO_2$  منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه

همان طور که گفتیم، میزان بهینه اجتماعی آلودگی برای یک بنگاه تولیدی جایی است که هزینه نهایی کاهش آلودگی برابر با خسارت نهایی ناشی از انتشار آلودگی باشد. بنابراین، دو منحنی هزینه نهایی کاهش آلودگی و خسارت نهایی ناشی از انتشار آلودگی (منفعت نهایی کاهش آلودگی) برآورد شده برای  $SO_2$  منتشرشده از مجتمع مس سرچشمه با یکدیگر تلاقی داده شدند. شکل ۶، تلاقی منحنی‌های  $MAB (MD)$  و  $MAC$  برآورد شده را نشان می‌دهد. شایان ذکر است به دلیل گسترده بودن دامنه اعداد، فقط قسمتی از دو منحنی که نقطه تقاطع در آنجاست نشان داده شده است.



شکل ۶. تلاقی منحنی‌های  $MAC$  و  $MAB (MD)$

با استفاده از دو منحنی مذکور، سطح بهینه اجتماعی برای انتشار این گاز تقریباً  $265290/6$  تن در سال برآورد شد. در حالی که میزان کنونی انتشار این گاز،  $288313/5$  تن در سال است. لذا، مجتمع مس سرچشمه باید میزان انتشار سالانه این گاز را حدود ۸ درصد کاهش دهد تا میزان انتشار این گاز به بهینه اجتماعی آن برسد. نرخ بهینه مالیات نیز  $12815/2$  ریال به ازای هر تن انتشار  $SO_2$  برآورد شد. لذا، با اخذ  $3/695$  میلیارد ریال مالیات سالانه از مجتمع مس سرچشمه می‌توان میزان انتشار این گاز را به بهینه اجتماعی آن رساند که تنها  $0/01$  درصد از درآمد فروش مس کاتدی این مجتمع را شامل می‌شود. با توجه به نتایج تحقیق، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱. نرخ بهینه مالیات به ازای هر تن انتشار گاز  $SO_2$ ،  $12815/2$  ریال برآورد شد. دولت با استفاده از نرخ بهینه مالیات برآورد شده می‌تواند اقدام به گرفتن مالیات از این مجتمع نماید تا این مجتمع هزینه‌های اجتماعی را به‌جای هزینه‌های خصوصی بپردازد و سطح انتشار این گاز را به بهینه اجتماعی آن برساند.
۲. یکی دیگر از راه‌های کنترل آلودگی، تعیین مقدار مجاز انتشار آلودگی است. لذا دولت می‌تواند مقدار بهینه اجتماعی برآورد شده برای انتشار این گاز یعنی  $265290/6$  تن در سال را مقدار مجاز انتشار گاز  $SO_2$  از این مجتمع اعلام کند. این روش یک روش کنترل دستوری است که دولت باید بر آن نظارت کند.
۳. طیف دیگری از روش‌های کنترل دستوری شامل لزوم استفاده از تجهیزات و روش‌های خاص کنترل آلودگی است. منحنی هزینه نهایی کنترل آلودگی راهگشای خوبی در این زمینه خواهد بود. برای مثال، دولت می‌تواند استفاده از فیلترها، گسترش کارخانه اسید سولفوریک، خشک کردن پاششی آهک و سایر روش‌های کنترل  $SO_2$  را برای این مجتمع الزامی کند.

### منابع

۱. ارباب، حمیدرضا (۱۳۸۷). اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی. تهران، نشر نی.
۲. اسماعیلی، عبدالکریم و محسن پور، رباب (۱۳۸۹). تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۴، ۸۶-۶۹.
۳. امیرنژاد، حمید (۱۳۸۴). تعیین ارزش کل اقتصادی اکوسیستم جنگل‌های شمال ایران با تأکید بر ارزش‌گذاری زیست محیطی - اکولوژیکی و ارزش‌های حفاظتی. پایان‌نامه دکتري اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۴. بهجتی، توحید، مرتضوی، ابوالقاسم و عبدالهی، بابک (۱۳۸۹). برآورد ارزش هوای پاک و تعیین عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت ساکنان شهر تهران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۱۰، ۴۰-۱۹.
۵. حافظ‌نیا، محمد. رضا (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر روش تحقیق در علوم انسانی (تجدید نظر اساسی با اضافات). تهران، نشر سمت.

۶. خوش اخلاق، رحمان و حسن شاه‌ی، مرتضی (۱۳۸۱). تخمین خسارات وارده به ساکنان شیراز به دلیل آلودگی هوا (سال ۱۳۸۱). مجله تحقیقات اقتصادی، ۶۱، ۵۳-۵۷.
۷. رحیمی، امیر و نیک سیر، آرزو (۱۳۸۹). کنترل آلودگی هوا با رویکرد طراحی. اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.
۸. شجاعی، معصومه (۱۳۸۹). ارائه یک مدل مالیاتی سبز به منظور اعمال مدیریت پایدار محیط زیست در ایران (مطالعه موردی صنعت کاغذ). پایان‌نامه دکتری مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد تهران واحد علوم و تحقیقات.
۹. شرکت ملی صنایع مس ایران (۱۳۹۰). گزارش یک موفقیت. نشریه مس، ۳۰، ۳.
۱۰. شفیعی‌زاده، شبنم (۱۳۸۶). امکان‌سنجی فنی و اقتصادی حذف  $SO_2/SO_x$  از واحد اسیدسولفوریک در صنعت پتروشیمی و تبدیل آن به سولفات آمونیوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد تهران واحد علوم و تحقیقات.
۱۱. میرحسینی، سید محمد (۱۳۸۶). هیدروژنوشیمی و پتانسیل باران‌های اسیدی در تحرک برخی از عناصر در خاک‌های مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
12. Ayres, R.U., & Kneese, A.V. (1969). Production, Consumption & Externalities. American.
13. Beaumont, N.J., & Tinch, R. (2004). Abatement Cost Curves: A Viable Management Tool for Enabling the Achievement of Win-Win Waste Reduction Strategies?. *Journal of Environmental Management*, 71, 207-215.
14. Becker, R.A. (2005). Air Pollution Abatement Costs under the Clean Air Act: Evidence from the PACE Survey. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50, 144-169.
15. Boyle, K. J., Johnson, F. R., McCollum, D. W., Desvousges, W. H., & Hudson, S. (1996). Valuing public goods: discrete versus continuous contingent-valuation responses. *Land Economics*, 72, 381-396.

16. Clinch, J. P., & Convery, F. (1999). *Economic and Financial Evaluation: Measurement. Meaning and Management of Public Administration*, Dublin.
17. Cooper, J. C., Hanemann, M., & Signorello, G. (2002). One-and-One-Half-Bound Dichotomous-Choice Contingent Valuation. *The Review of Economics and Statistics*, 84 (4), 742-750.
18. Creel, M., & Loomis, J. (1997). Semi-nonparametric Distribution-Free Dichotomous Choice Contingent Valuation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 32 (3), 341-358.
19. Desaigues, B., Ami, D., & Bartczak, A. (2011). Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). *Journal of Ecological Indicators*, 11, 902-910.
20. Fare, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., & Yaisawarng, S. (1993). Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach. *Review of Economics and Statistics*, 75, 374-380.
21. Gallant, A. R. (1982). Unbiased determination of production technologies. *Journal of Econometrics*, 20, 285-323.
22. Gollop, F.M., & Roberts, M. J. (1985). Cost-Minimizing Regulation of Sulfur Emissions: Regional Gains in Electric Power. *Review of Economics and Statistics*, 67, 81-90.
23. Hanemann, W. Michael. (1984). Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Response Data. *American Journal of Agricultural Economics*, 66(3), 332-341.
24. Hartman, R.S., Wheeler, D., & Singh, M. (1997). The Cost of Air Pollution Abatement. *Applied Economics*, 29, 759-774.
25. Hussen, A. (2004). *Principles of Environmental Economics*. Routledge: London.
26. Karvosenoja, N., & Johansson, M. (2003). Cost Curve Analysis for SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emission Control in Finland. *Environmental Science and Policy*, 6, 329-340.
27. Kolstad, C. (2000). *Environmental Economics*. UK: Axford University Press.
28. McKittrick, R. (1999). A Derivation of the Marginal Abatement Cost Curve. *Journal of Environmental Economics and Management*, 37, 306-314.
29. Mekaroonreung, M., & Johnson, A. L. (2012). Estimating the Shadow Prices of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> for U.S. Coal Power Plants: A convex nonparametric least squares approach. *Journal Energy Economics*, 34(3), 723-732.

30. Mitchell, R., & Carson, R. (1989). Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Washington DC, Johns Hopkins University Press for Resources for the Future.
31. Park, H., & Lim, J. (2009). Valuation of Marginal CO<sub>2</sub> Abatement Options for Electric Power Plants in Korea. *Energy Policy*, 37, 1834-1841.
32. Rečka, L. (2011). Shadow Price of Air Pollution Emissions in Czech Energy Sector – Estimation from Distance Function. Msc Thesis. Faculty of Social Sciences. Charles University. Prague.
33. Vijay, S., DeCarolis, J. F., & Srivastava, R. K. (2010). A Bottom-up Method to Develop Pollution Abatement Cost Curves for Coal-Fired Utility Boilers. *Energy Policy*, 38, 2255-2261.
34. Wang, H., & Mullahy, J. (2006). Willingness to pay for reducing fatal risk by improving air quality: A contingent valuation study in Chongqing, China. *Journal of Science of the Total Environment*, 367, 50-57.
35. Wickborn, G. (1996). Avoidance Cost Curves for NO<sub>x</sub>. London Group Meeting on Environmental Accounting. Stockholm, May 28–31.