علـوم محـیـطی سال ششم ، شماره سوم، بهار ۱۳۸۸
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.6, No.3 , Spring 2009
۱۱-۲۲

# برآورد ارزش عملکرد جذب گاز آلاینده گوگرد دیوکسید توسط اکوسیستم‌های جنگلی

## مطالعه موردی: جنگل‌های خیرود کنار نوشهر

**غلامعلی شرزه ای[۱]، نغمه مبرقعی[۲*]**

۱- گروه اقتصاد اجتماعی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران
۲- دانشجوی دوره دکترای برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

## چکیده

جنگل‌ها علاوه بر تولید چوب منافع اجتماعی و محیط زیستی فراوانی به همراه دارند که اغلب آنها فاقد بازارمی‌باشند. از جمله این منافع، می توان به عملکرد جنگل‌ها در جذب آلاینده‌های هوا و کاهش بار آلودگی اشاره نمود. عملکردی که علی رقم نقش موثری که در افزایش میزان رفاه و کاهش عوارض ناشی از آلودگی داراست، فاقد جایگاهی در محاسبات معمول منافع ناشی ازاکوسیستم‌های جنگلی است. در این مطالعه ارزش اقتصادی کارکرد جذب گاز گوگرد دیوکسید در بخشی از جنگل‌های خزری برآورد شده است. در ابتدا میزان جذب آلاینده در منطقه مورد مطالعه به تفکیک، برای هر یک از دو کاربری جنگل و مرتع با استفاده از مدل‌های موجود محاسبه شده، در ادامه این عملکرد با استفاده از روش هزینه جایگزین ارزشگذاری شده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با احتساب ارزشی معادل ۲۴۷۵ هزار ریال برای جذب هر تن گاز آلاینده گوگرد دیوکسید، عرصه ۲۰۵۸۲ هکتاری از منطقه مورد مطالعه، با جذب سالانه ۴۲/۶۲۳ تن گاز آلاینده $SO_2$ ، از ارزش سالانه‌ای معادل ۱۰۶ میلیون ریال، در رابطه با عملکرد جذب گاز گوگرد دیوکسید برخوردار است.

*کلمات کلیدی:* خدمات اکوسیستمی، جذب آلاینده ها، جنگلهای خزری، گوگرد دیوکسید، خیرود کنار.

**Estimating the Value of Forest Ecosystem for Sulfur Dioxide Pollutant Gas Absorption Function**
**Case study: KheiroudKenar Forests- Noshahr**

**Gholamali Sharzei1, Naghmeh Mobarghei2***

*1- Department of Social Economic, Faculty of Economics, University of Tehran*
*2- Department of Environmental Planning , Faculty of Environment, University of Tehran*

**Abstract**

Forest Ecosystem in addition to timber production has many social and environmental benefits. One of the most important benefits from the forest ecosystem is their role in air pollutants absorption and reducing the pollution level. In this study the economic value of SO2 absorption by forest has been estimated in a part of Caspian forest. At the first, the amount of absorbed SO2 has been calculated by existing models, separately for forest and rangeland that are two main land uses in the region. Then this function has been valuated with replacement cost method. The results show a value of 2475 thousand Rials for absorption of each ton of SO2. According to the area of region that is 20582 hectare, the total amount of SO2 absorption is 42.723 ton per year and its value is 106 million Rials per year for the ecosystem function of SO2 absorption.

*Keywords:* ecosystem services, pollutant absorption, caspian forest, sulfur dioxide, kheiroudKenar.

* Corresponding author. *E-mail Address*: n_mobarghei@yahoo.com

## مقدمه

یکی از خدمات اکوسیستم جنگلی، نقش آن درتصفیه مواد زائد و جذب آلاینده‌ها ی هوا است. تاثیرات جنگل در تقلیل گرد و غبار تا حدی است که آنها را ریه تنفسی شهرها می نامند (Kuehn, 1959). از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های هوا که توسط درختان جذب می‌شوند میتوان به $PM_{10}$ $SO_2$, $O_3$, $NO_2$, Co [1] اشاره نمود. تحقیقات بسیاری در جهان در رابطه با نقش درختان در جذب آلاینده‌ها به انجام رسیده است.

(Bidwell and Fraser 1972; Colbeck and Harrison 1985; Nowak *et al.*; 1998, Beckett *et al.*; 1998).

معمولا جذب آلاینده‌ها از طریق روزنه‌های موجود در سطح برگ صورت می‌گیرد و دارای فرایندی پیچیده است. میزان و نوع آلاینده جذب شده توسط درختان به عوامل مختلفی چون نوع گونه گیاهی، تراکم آلاینده، فرم برگ، توپوگرافی، نوع تاج پوشش، دمای هوا، میزان رطوبت هوا ومیزان تشعشعات خورشیدی وابسته است (Broadmeadow and Freer, 1996). مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۹۸ در امریکا نشان می‌دهد که در مناطق شهری فیلادلفیا، درختان سالانه موجب جذب بیش از ۱۰۰۰ تن آلاینده می‌گردند. در این میان جذب سالانه ۴۱۸ تن $PM_{10}$ در این منطقه کیفیت هوا را ۰/۷۲ درصد بهبود بخشیده است (Nowak *et al.*, 1998). نتایج تحقیق دیگری در منطقه شیکاگو حاکی از جذب روزانه ۹/۸ تن $PM_{10}$ و افزایش ۰/۴ درصدی در کیفیت هوا در این منطقه است (McPherson *et al.*, 1998). بررسی‌ها در امریکا نشان می‌دهد که ۲۰ درصد کاهش در مناطق جنگلی ناحیه لس آنجلس در امریکا که به واسطه گسترش شهر نشینی اتفاق افتاده است، به میزان ۱۴ درصد میزان تراکم ازن را در این ناحیه افزایش داده است (Taha, 1996). همچنین مطالعاتی در زمینه ارتباط میان کاهش آلودگی توسط درختان و کاهش نرخ مرگ و میر و مراجعه به مراکز درمانی نیز صورت گرفته است. نتایج تحقیقی که در انگلیس انجام شده نشان می‌دهد که جذب دو آلاینده $SO_2$ و $PM_{10}$ توسط درختان جنگل‌های انگلیس، سالانه موجب کاهش ۷-۵ مورد مرگ و میر و ۶-۴ مورد مراجعه به مراکز درمانی می‌گردد که ارزش این عملکرد در سال ۲۰۰۱ به میزان ۹۰۰ هزار پوند انگلیس برآورد شده است. البته لازم به ذکر است که در این مطالعه، اثرات کاهش آلودگی مربوط به تمامی جنگل‌های طبیعی و دست کاشت بالای

**جدول ۱**- نتایج مطالعات مربوط به سنجش میزان جذب آلاینده‌ها در چهارمنطقه جنگلی آمریکا

(Mc Pherson *et al.*, 1994, California Energy Commission, 1992)

| نام آلاینده | میزان جذب آلاینده توسط اکوسیستم جنگلی بر حسب kg/ha/y | | | | میانگین جذب kg/ha/y | هزینه جذب $ /ton |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | منطقه ۱ | منطقه ۲ | منطقه ۳ | منطقه ۴ | | |
| CO | ۰/۳ | ۰/۸ | ۰/۷ | ۰/۷ | ۰/۶۲۵ | ۹۲۰ |
| $SO_2$ | ۱/۴ | ۲/۸ | ۱/۲ | ۲/۱ | ۱/۸۷ | ۱۶۳۴ |
| $NO_2$ | ۱/۵ | ۲/۵ | ۲/۹ | ۲/۴ | ۲/۳۲ | ۴۴۱۲ |
| $PM_{10}$ | ۳/۵ | ۶/۳ | ۵/۲ | ۵/۵ | ۵/۱۲ | ۳۰۷ |
| $o_3$ | ۳/۱ | ۷/۱ | ۵/۶ | ۶/۰ | ۵/۴۵ | ۴۹۰ |

۲ هکتار در انگلیس مد نظر قرار گرفته است و این اثرات بر افرادی که تا شعاع یک کیلومتری از این مناطق ساکن بوده اند سنجیده شده است (Powe and Willis, 2004 ). جدول شماره ۱ برخی از مطالعات مربوط به سنجش میزان جذب آلاینده‌ها را در چهار منطقه جنگلی امریکا و هزینه لازم برای جذب هر تن از آلاینده‌ها را به روش‌های صنعتی نشان می‌دهد.

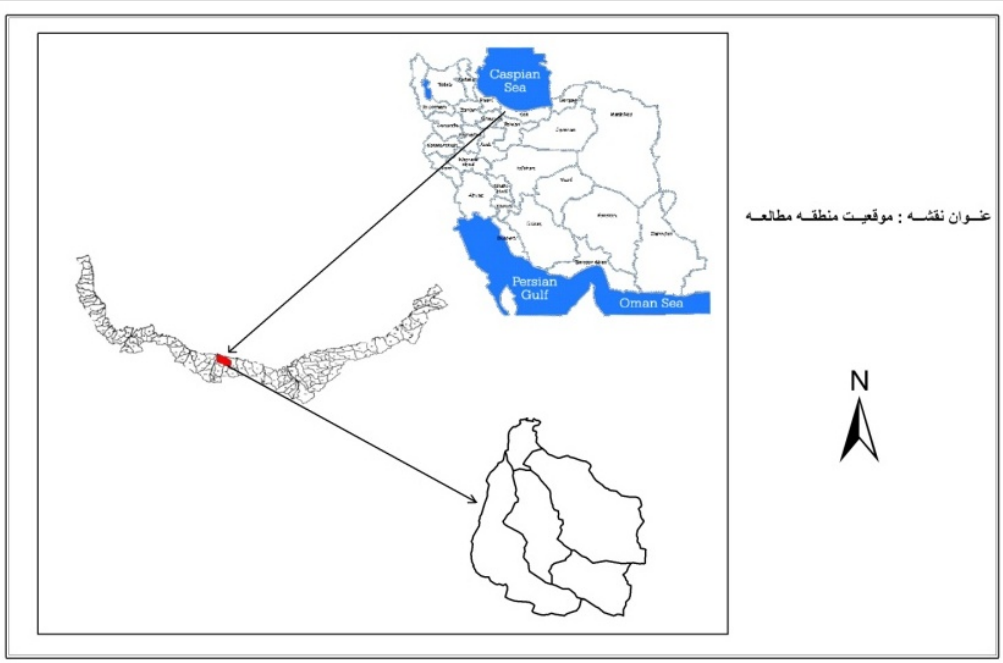
$SO_2$ یکی از گازهای آلاینده هوا است که از سوختن گوگرد تولید می‌شود. از جمله مهم‌ترین منابع تولید گاز گوگرد دیوکسید می‌توان به سوخت‌های فسیلی و خصوصا نیروگاه‌هایی که با سوخت زغال سنگ کار می‌کنند اشاره نمود. $SO_2$ توسط درخت به دو طریق جذب می‌گردد. یکی از طریق روزنه‌ها و دیگری از طریق رطوبت سطحی موجود در برگ (Bell and Treshow, 2002). معمولا جذب سالانه $SO_2$ در گیاهان سوزنی برگ بیش از جذب این آلاینده در گیاهان پهن برگ می‌باشد. این امر را میتوان علاوه بر نوع گونه و خصوصیات فیزیولوژیک گیاه، به عدم وجود دوره بی برگی و همیشه سبز بودن این درختان نیز نسبت داد.

سازوکار جذب $SO_2$ توسط برگ با ورود آن به روزنه آغاز می‌شود. سرعت نفوذ یا ته نشینی[۲] $SO_2$ در برگ به عوامل مختلفی چون نوع گونه، وزش باد، میزان رطوبت، وضعیت توپوگرافی، فرم برگ و نوع تاج پوشش درخت وابسته می‌باشد. پس از ورود به برگ ، $SO_2$ با آب موجود در لایه داخلی برگ ترکیب شده و به سولفوریک اسید و سولفورو اسید ($H_2SO_4$ و $H_2SO_3$) تبدیل می‌گردد. البته به واسطه تولید یونهای سولفات و سولفیت میزان pH گیاه کاهش یافته و مقادیر بالای این مواد می تواند موجب بروز اختلال در عملکرد گیاه شود. تحقیقات نشان می دهد که تراکم بیشتر از ۰/۲۵ ppm گاز گوگرد دیوکسید برای چندین ساعت می تواند به برخی از گونه های گیاهی آسیب برساند(Smith, 1990). صدمات ناشی از گاز گوگرد دیوکسید بر پوشش گیاهی می تواند مستقیما از طریق برگ‌ها صورت گیرد و یا اینکه از راه‌های غیر مستقیم مانند تغییر ساختمان شیمیایی خاک صورت پذیرد. تماس مداوم گیاه با گاز گوگرد دیوکسید موجب کاهش بازدهی محصول در کشاورزی و جنگل‌داری می‌گردد. برخی از گیاهان مانند بریوفیبها و گلسنگ‌ها حتی نسبت به غلظت پایین این گاز نیز حساس بوده و به سرعت در معرض نابودی قرار می‌گیرند. به طوریکه می توان از این گیاهان به عنوان شاخصی برای سنجش میزان گاز گوگرد دیوکسید در هوا استفاده نمود (Majnonian, 1990).

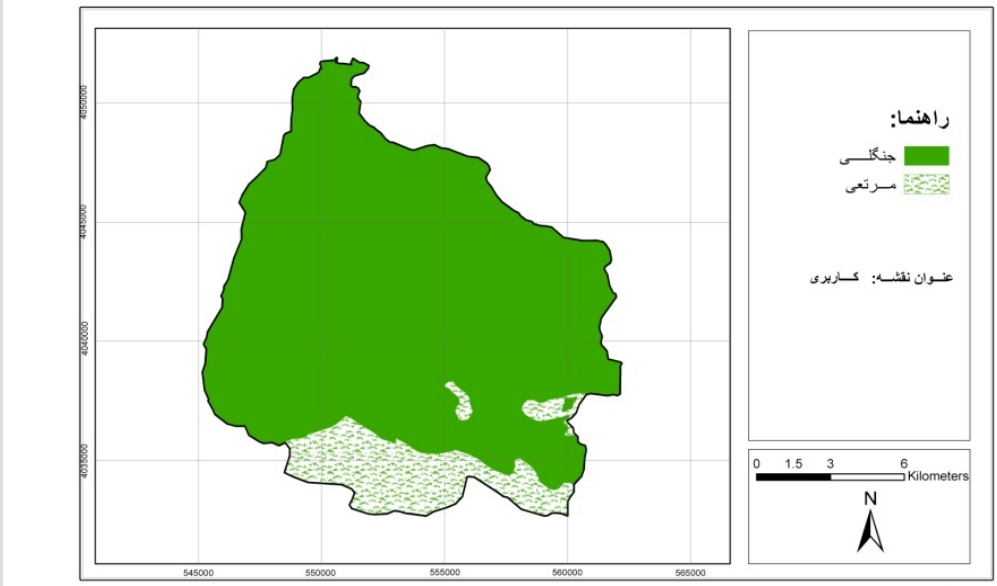
## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق آبخیر شماره ۱ از حوزه ۴۵ جنگل‌های خزری به مساحت ۲۰۵۸۲/۴۹ هکتار می‌باشد. این منطقه در شش کیلومتری نوشهر واقع است و بخشی از آن با عنوان "جنگلهای علمی - پژوهشی" به منظور انجام امور پژوهشی در اختیار دانشگاه تهران قرار دارد. شکل شماره ۱ موقعیت منطقه را نسبت به جنگل‌های خزری و کل کشور نشان می‌دهد. این منطقه دارای پنج زیر حوزه و دو نوع کاربری جنگلی و مرتعی است. از کل مساحت منطقه ۱۸۱۱۷/۶۲ هکتار دارای کاربری جنگلی و ۲۴۶۴/۸۷ هکتار دارای کاربری مرتعی می باشد.
(Natural Resource General Office of Noshahr, 2007). شکل شماره ۲ نحوه پراکندگی این دو نوع کاربری را نشان می دهد.




**شکل ۱**- موقعیت منطقه مطالعاتی نسبت به جنگلهای خزری و کل کشور




**شکل ۲**- نقشه کاربریهای موجود در منطقه مطالعاتی

## الگو و روش برآورد

مسلماً انجام مطالعات تجربی به منظور اندازه‌گیری میزان آلاینده‌های جذب شده توسط گیاهان به تفکیک گونه و شرایط خاص مکانی، می تواند منجر به کسب نتایج صحیح‌تری در این رابطه گردد، اما در بسیاری از موارد به دنبال عدم انجام این گونه مطالعات ، میتوان از مدل‌های تجربی موجود در این زمینه نیز استفاده نمود. با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در زمینه جذب گاز آلاینده گوگرد دیوکسید توسط درختان در ایران انجام نشده است در مطالعه حاضر از مدل موجود در این زمینه جهت برآورد میزان جذب $SO_2$ استفاده شده. رابطه شماره ۱ این مدل را نشان می‌دهد ( Powe and Willis, 2004 ).

$$A = F \times S \times P \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه A [۳] میزان جذب آلاینده توسط گیاه بر حسب میکرو گرم، F [۴] میزان جریان آلودگی بر حسب $\mu g/m^2/s$ ، S [۵] سطح مورد تماس گیاه با آلاینده و P [۶] دوره زمانی بر حسب ثانیه می‌باشد. هر یک از عوامل این رابطه به طور مجزا محاسبه شده و در فرمول نهایی قرار می‌گیرد که در ادامه تشریح خواهد شد.

$$\mathbf{F} = V.C \qquad (۱-۱)$$

$$\mathbf{S} = S_A.I_s \qquad (۱-۲)$$

$$\mathbf{P} = P_s.P_d.P_l \qquad (۱-۳)$$

همان‌گونه که رابطه ۱-۱ نشان می دهد، جریان آلودگی حاصل ضرب دو عامل سرعت ته نشینی (V) برحسب (m/s) و تراکم آلودگی (C) بر حسب ($\mu g/m^3$) می‌باشد. همچنین در رابطه ۱-۲ سطح مورد تماس گیاه با آلاینده (S) از حاصل ضرب دو عامل سطح منطقه جنگلی ($S_A$) برحسب ($m^2$) و شاخص سطح منطقه [۷] ( $I_s$ ) بر حسب ($m^2/m^2$) ، که مقادیر آن به تفکیک برای حالت‌های گوناگون در جدول ۲ آمده است بدست می‌آید. رابطه ۱-۳ نشان می‌دهد به منظور محاسبه دوره زمانی، لازم است تا طول دوره تجزیه و تحلیل ($P_s$) بر حسب ثانیه (s) در نسبت روزهای خشک در طول دوره ($P_d$ ) و نسبت روزهایی که گیاه دارای برگ است ( $P_l$)، ضرب شود. بنابراین میتوان مدل کلی برآورد میزان جذب آلاینده $SO_2$ را به صورت رابطه ۲ نشان داد.

$$A=V.C.S_A.I_S.P_S.P_d.P_l \qquad \text{رابطه ۲}$$

با ارزیابی مطالعات گوناگون میزان هر یک از دو عامل سرعت ته نشینی و شاخص سطح منطقه در هر یک از دوره‌های زمانی که گیاه دارا و یا فاقد برگ می‌باشد و همچنین به تفکیک برای جنگل‌های سوزنی برگ، پهن برگ و مراتع و علفزارها برآورد شده است. جدول ۲ نتایج این برآورد را نشان می‌دهد (Powe and Willis, 2004 ).

لازم به ذکر است که منظور از سرعت ته نشینی ، سرعت ورود آلاینده به گیاه بوده و واحد سنجش آن متر بر ثانیه می‌باشد. تراکم آلودگی نیز به میزان متوسط آلاینده موجود در هوای منطقه اطلاق شده و بر حسب میکروگرم بر متر مکعب سنجیده می‌شود. منظور از مساحت مورد نظر نیز سطح منطقه جنگلی دارای پوشش گیاهی است که بر حسب متر مربع سنجیده می‌شود. شاخص سطح منطقه نشانگر میزان نسبت سطح برگ به سطح منطقه دارای پوشش گیاهی می‌باشد. این نسبت به طور متوسط در سوزنی برگان ۹ برابر و در پهن برگان بسته به قرار داشتن گیاه در فصول دارا یا فاقد برگ، به ترتیب ۶ و ۱/۷ برابر سطحی که گیاه در آن روییده، تخمین زده شده است. در رابطه با پوشش‌های مرتعی نیز این نسبت به ترتیب ۲ و ۱/۵ برابر برآورد می‌شود.

نسبت روزهای خشک و فاقد بارش و نسبت روزهایی که گیاه دارای برگ است به کل روزهای سال نیز به صورت نسبت و بدون واحد در رابطه مربوطه قرار خواهد گرفت. شاخص دیگری که در مدل منظور شده است، شامل مدت زمان دارای برگ بودن گیاه است. با

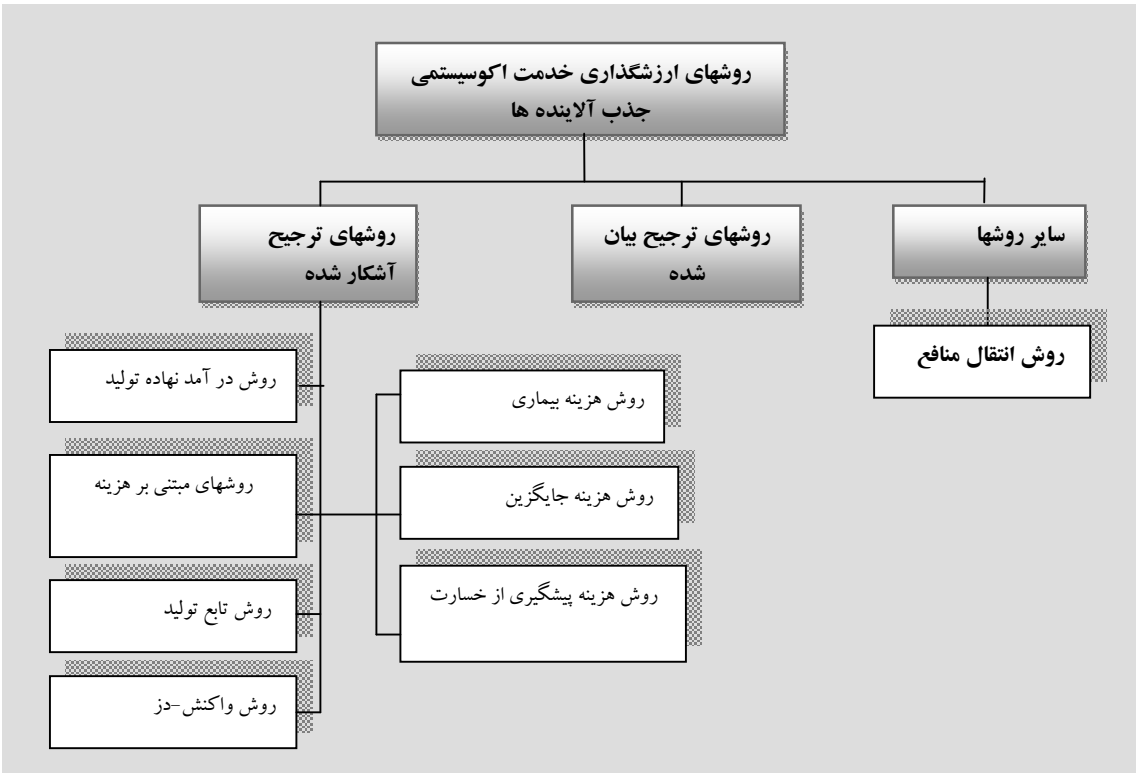
توجه به اینکه عمل جذب آلاینده ها توسط برگ گیاهان صورت می‌گیرد منظور نمودن این شاخص به عنوان زمان فعالیت گیاه در این زمینه ضروری است. معمولا در جنگل‌های پهن برگ خزان کننده، زمانی که گیاه دارای برگ است، شامل یک دوره ۵ ماهه از ماه می تا سپتامبر (اردیبهشت تا شهریور) می‌باشد ( Powe and Willis, 2004).

بدین ترتیب با در دست داشتن میانگین تراکم آلاینده در هوای منطقه مورد مطالعه، نسبت روزهای خشک سال، نسبت روزهای دارای برگ در گیاه، مساحت منطقه مورد مطالعه و استفاده از ارقام مندرج در جدول ۲ می توان به محاسبه میزان $SO_2$ جذب شده توسط اکوسیستم جنگلی مبادرت ورزید.

به منظور ارزشگذاری خدمت اکوسیستمی جذب آلاینده‌ها توسط درختان می‌توان از روش‌های متفاوتی استفاده کرد شکل شماره ۳ خلاصه‌ای از این روش‌ها را نشان می‌دهد.

**جدول ۲**- آمارهای مربوط به سرعت ته نشینی و شاخص سطح منطقه در گیاهان مختلف (Powe and Willis, 2004) .

| نوع کاربری | سرعت ته نشینی (m/s) | | شاخص سطح منطقه ($I_s$) | |
|---|---|---|---|---|
| | در فصول با برگ | در فصول فاقد برگ | در فصول با برگ | در فصول فاقد برگ |
| جنگل سوزنی برگ | ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۰۰۸ | ۹ | ۹ |
| جنگل پهن برگ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۱ | ۶ | ۱/۷ |
| مراتع و علفزارها | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۰۰۱ | ۲ | ۱/۵ |




**شکل ۳**- روشهای ارزشگذاری خدمت اکوسیستمی جذب آلاینده ها (یافته های تحقیق)

همان‌گونه که در شکل شماره ۳ مشخص شده است، روش‌های ارزشگذاری عملکرد جذب آلاینده‌ها را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود. در روش‌های ترجیح آشکار شده، برآورد ارزش از روی تحلیلی که از رفتارهای واقعی مردم انجام می‌شود بوده و نشانگر انتخاب واقعی مردم است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش درآمد نهاده تولید، روشهای مبتنی بر هزینه، روش تابع تولید و روش واکنش - دز اشاره نمود.

در روش درآمد نهاده تولید، ارزش عملکرد جذب آلاینده، از روی اثری که در نبود این خدمت بر میزان کسب درآمد افراد خواهد داشت سنجیده می‌شود. در روش تابع تولید این امر بر اساس بروز خسارت در محصول و کاهش درآمدی که به واسطه آن ایجاد می‌گردد، سنجیده می‌شود. در روش واکنش - دز نیز ارتباط میان میزان انتشار آلاینده و خسارت ناشی از آن سنجیده و ارزشگذاری خواهد شد. همچنین در روش‌های مبتنی بر هزینه، میزان ارزش عملکرد جذب آلاینده‌ها بر مبنای هزینه لازم برای کنترل انتشار یا ممانعت از تماس با آلودگی محاسبه می‌گردد. در روش هزینه بیماری منافع ناشی از خدمت اکوسیستمی جذب آلاینده‌ها معادل هزینه‌ای که در نبود این خدمت باید برای درمان بیماری‌های ناشی از آن صرف شود، محاسبه می شود. در روش هزینه پیشگیری ارزش خدمت اکوسیستمی جذب آلایندها بر مبنای هزینه ای که در صورت نبود این خدمت، برای پیشگیری از ابتلا به بیماری‌های ناشی از آن هزینه می شود، محاسبه می‌گردد ( مانند هزینه خرید ماسک ضد آلودگی یا دستگاههای تصفیه هوا). در روش هزینه جایگزین که اولین بار توسط شابمن و بتیه در ۱۹۷۸ به کار گرفته شد (Shabman and Batie, 1978)، ارزش خدمت اکوسیستمی جذب آلاینده‌ها معادل هزینه ای که به منظور ایجاد جایگزینی برای این خدمت مورد نیاز است، محاسبه می گردد. این میزان می‌تواند معادل هزینه‌ای باشد که برای حذف آلودگی با استفاده از سیستم‌های انسان ساخت و دستگاه‌های جاذب آلاینده‌ها لازم است.

در روش‌های ترجیح بیان شده برآورد ارزش، ناشی از رفتارهای واقعی مردم نبوده و تنها بر پایه اظهارات آنان و بیان تمایل به پرداختشان (WTP[۸]) برای بهرمندی از کالا ها و خدمات اکوسیستمی شکل می‌گیرد. در این دسته از روش‌ها که عمدتا متکی به پر کردن پرسشنامه‌هایی توسط مخاطبین است، از آنان خواسته می‌شود تا میزان تمایل به پرداختشان را به منظور کنترل آلودگی یا کاهش میزان معینی از آلودگی بیان دارند. در نهایت در روش انتقال منافع نیز، با استفاده از تخمینهای ارزش یک مکان می‌توان ارزش خدمت اکوسیستمی در مکان دیگری را برآورد نمود. این امر می تواند به واسطه کمبود بودجه، زمان و یا نیروی متخصص صورت می‌پذیرد .

(De Groot *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 2000; Heal *et al.*, 2005; Pagiola *et al.*, 2004) .

در تحقیق حاضر به واسطه عدم وجود آمار و اطلاعات کافی در زمینه اثرات آلودگی بر سلامت و هزینه های ناشی از آن در ایران، از روش هزینه جایگزین به منظور ارزشگذاری استفاده شده است. لازم به ذکر است به منظور دستیابی به نتایج قابل قبول در بکارگیری روش هزینه جایگزین، لازم است همواره حداقل هزینه لازم برای ایجاد جایگزینی برای خدمت اکوسیستمی، در نظر گرفته شود(Pagiola *et al.*, 2004).

## نتایج

اندازه‌گیری غلظت گاز $SO_2$ در شهریورماه ۱۳۸۷ در منطقه مطالعاتی توسط شرکت کنترل کیفیت هوا[۹] با استفاده از تکنیک حسگرهای فرابنفش (UV ) انجام شد.

میزان غلظت این گاز طی دو بار اندازه‌گیری معادل ۵/۴۴ و ۵/۸۸ ppb (قسمت در میلیارد ) یا به طور میانگین ۰/ ۰۰۵۶۶ ppm ( قسمت در میلیون) بوده است. به منظور تبدیل ppm به میلی‌گرم بر متر مکعب می‌توان از رابطه ۳ استفاده نمود.

$$mg/m^3 = \frac{(x\ ppm)(G_m)}{24/45}$$ رابطه ۳

در رابطه ۳، $G_m$ میزان جرم ملکولی گاز، و X غلظت گاز بر حسب ppm می‌باشد. با توجه به اینکه جرم ملکولی گاز $SO_2$ معادل ۶۴ و غلظت آلاینده در منطقه ۰/ ۰۰۵۶۶ ppm می‌باشد، میزان غلظت گاز در منطقه مورد مطالعه معادل ۰/۰۱۴۸ $mg/m^3$ یا ۱۴/۸ $\mu g/m^3$ برآورد گردیده است.

طبق آمار اداره کل هواشناسی نوشهر تعداد روزهای بارانی این شهر در طی سالهای ۱۳۸۵-۱۳۸۲ به ترتیب ۱۳۷،۱۳۷،۱۵۳ و ۱۷۴ روز بوده است که به طور میانگین می‌توان رقم ۱۵۰ روز در سال را برای آن منظور نمود (Mazandaran Local Meteorological Office, 2007). بنابراین متوسط تعداد روزهای غیر بارانی به کل روزهای سال ($\frac{215}{365}$) یا ۰/ ۵۹ می‌باشد.همچنین نسبت روزهایی که گیاه دارای برگ است نیز با فرض دارای برگ بودن گیاه در طی هفت ماه از سال در جنگل‌های خزری، (از اول خرداد تا پایان آبان ماه) معادل ۰/۵۹ از روزهای سال می‌باشد. بدین ترتیب لازم است تا ابتدا میانگین وزنی سرعت ته نشینی و شاخص سطح منطقه را با استفاده از زمان دارای برگ بودن گیاه و ارقام جدول شماره ۲ محاسبه نمود. لازم به ذکر است محاسبات برای اکوسیستم جنگلی و مرتعی به تفکیک انجام پذیرفته است.

**الف - محاسبه میزان آلاینده جذب شده در اکوسیستم جنگلی**

با استفاده از داده‌های جدول شماره ۲ و روابط ذکر شده می‌توان مقادیر مربوطه را محاسبه نمود:

V= (۰/۰۰۰۵×۰/۵۹+ ۰/۰۰۰۱× ۰/۴۱) = ۰/۰۰۰۳۳

I= (۶×۰/۵۹+۱/۷ ×۰/۴۱) =۴/۲۷۳

بدین ترتیب میزان جذب $SO_2$ در یک هکتار از جنگل در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از رابطه شماره ۲ قابل محاسبه است:

A= ۰/۰۰۰۳۳× ۱۴/۸× ۱۰۰۰۰× ۴/۲۷۳× ۳۶۵×۲۴ ×

۳۶۰۰× ۰/۵۹× ۰/۵۹=۲۲۹۰۹۶۸۶۰۰ µg

نتایج نشان می‌دهد، هر هکتار از جنگل‌های مورد مطالعه، سالانه۲/۲۹ کیلوگرم از گاز گوگرد دیوکسید را از هوای منطقه جذب و پایش می‌کنند. با حاصل ضرب این رقم در کل مساحت عرصه جنگلی می‌توان میزان کل گاز جذب شده در سال را محاسبه نمود.

**ب - محاسبه میزان آلاینده جذب شده در اکوسیستم مرتعی**

با استفاده از داده های جدول شماره ۲ و روابط ذکر شده می‌توان مقادیر مربوطه را محاسبه نمود

V= (۰/۰۰۰۲×۰/۵۹+ ۰/۰۰۰۱× ۰/۴۱) = ۰/۰۰۰۱۵۹

I= (۲×۰/۵۹+ ۱ /۵ ×۰/۴۱) =۱/۷۹۵

A= ۰/۰۰۰۱۵۹× ۱۴/۸ × ۱۰۰۰۰× ۱/۷۹۵× ۳۶۵× ۲۴×

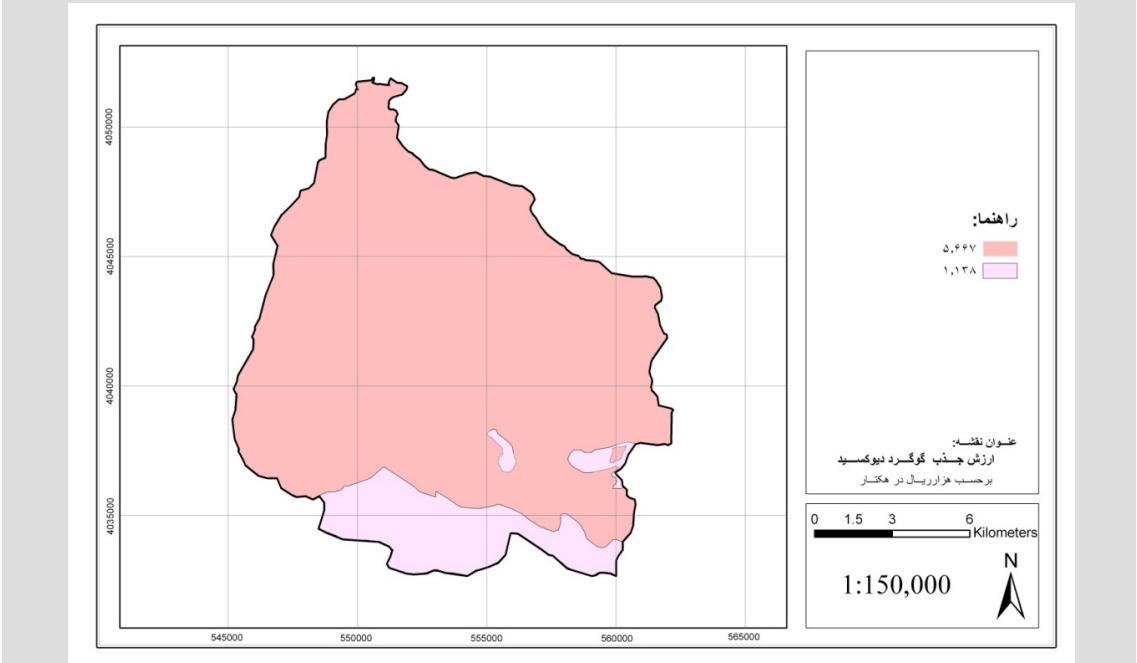
۳۶۰۰× ۰/۵۹×۰/۵۹= ۰/۴۶۳۶۹۶۵۹۰ µg

نتایج نشان می‌دهد که هر هکتار از مناطق مرتعی در محدوده مورد مطالعه سالانه ۰/۴۶ کیلوگرم گاز گوگرد دیوکسید را جذب می‌نمایند. با توجه مساحت مناطق جنگلی و مرتعی در منطقه مورد مطالعه که به ترتیب ۱۸۱۱۷/۶۲ و۲۴۶۴/۸۷ هکتار می‌باشد، میتوان میزان جذب سالانه گاز $SO_2$ را در منطقه برآورد نمود. میزان کل جذب $SO_2$ توسط مناطق جنگلی با احتساب ۲/۲۹ کیلوگرم به ازای هر هکتار، معادل ۴۱۴۸۹/۳۵ کیلوگرم و این رقم برای مناطق مرتعی با احتساب ۰/۴۶ کیلوگرم در هکتار، معادل ۱۱۳۳/۸۴ کیلو گرم خواهد بود. بدین ترتیب میزان کل جذب سالانه معادل ۴۲۶۲۳ کیلوگرم

است که به طور متوسط معادل ۵ کیلوگرم در ساعت می‌باشد.

به منظور ارزشگذاری این عملکرد از هزینه جدا سازی گاز گوگرد دیوکسید توسط دستگاه‌های جذب و تصفیه صنعتی و با بکارگیری روش هزینه جایگزین استفاده شده است. بدین منظور کارخانه ای با تولید ۵ کیلوگرم $SO_2$ مازاد بر میزان استاندارد، در ساعت، در نظر گرفته شده که نیاز به تصفیه خانه دارد. روش مناسب تصفیه گاز $SO_2$، روش تصفیه با آب آهک است. بررسی‌ها نشان می‌دهد برای احداث این تصفیه خانه، به ۳۱۰ میلیون ریال هزینه تاسیسات با عمر مفید ۲۰ سال و ۹۰ میلیون ریال هزینه‌های جاری سالانه بابت خرید مواد، هزینه‌های کارگری و هزینه‌های انرژی مصرفی نیاز است. بنابراین به طور میانگین هزینه حذف کل میزان $SO_2$ در سال معادل ۱۰۵/۵ میلیون ریال خواهد بود. با تقسیم این رقم به وزن کل $SO_2$ حذف شده می‌توان به هزینه حذف هر کیلوگرم از $SO_2$ دست یافت که به طور متوسط ۲۴۷۵ ریال خواهد شد (Havaye pak afarin CO, 2008)

بدین ترتیب ارزش هر هکتار از مناطق جنگلی و مرتعی در منطقه مورد مطالعه برای خدمت اکوسیستمی جذب آلاینده SO2 به ترتیب ۵۶۶۷ ریال (۲۴۷۵× ۲/۲۹) و۱۱۳۸ ریال (۰/۴۶ × ۲۴۷۵ ) برآورد شده است.شکل ۳ چگونگی توزیع ارزش این خدمت اکوسیستمی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.




**شکل ٤**- نقشه ارزش جذب گاز آلاینده گوگرد دیوکسید در منطقه مطالعاتی برحسب هزار ریال در هکتار

## بحث

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد کـه بـا احتـساب ارزشی معادل ۲۴۷۵ هزار ریال برای جـذب هـر تـن گـاز آلاینـده گـوگرد دیوکـسید، عرصـه ۲۰۵۸۲ هکتـاری از منطقه مورد مطالعه، با جذب سالانه ۴۲/۶۲۳ تن گـاز $so_2$ از ارزشی معادل ۱۰۵۴۹۱ هزار ریـال در سـال برخـوردار است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات انجام شده توسط مک فرسون در سال ۱۹۹۴ و کمیسیون انرژی کالیفرنیا در سـال ۱۹۹۲ کـه نتـایج آن در جـدول شـماره یک آورده شده است، نشان می‌دهد مشابهت بـسیاری در میزان جذب گوگرد دیوکسید در این مناطق وجـود دارد. طبق جدول شماره یک میزان جذب گوگرد دیوکسید در چهار منطقه جنگلی امریکا از ۱/۲ تا ۲/۸ کیلوگرم در هـر هکتار متغیر می‌باشد و از میانگینی برابر۱/۸۷ کیلوگرم در هـر هکتـار در سـال برخـوردار اسـت. رقـم سـالانه۲/۲۹ کیلوگرم در هکتار جذب گاز $so_2$ در مناطق جنگلی کـه نتیجه این تحقیق است، نشانگر فابلیت بـالای جنگـل‌هـای خزری در جذب این گاز آلاینده می‌باشد. امـا در ارتبـاط با ارزش این خدمت اکوسیستمی تفاوت چشمگیری میان ارقام بدست آمده در ایـن تحقیـق و نتـایج ارائـه شـده در جدول شماره یک وجود دارد. بـه طـوری‌کـه در جـدول شماره یک متوسط هزینه جذب هر تـن گـاز $so_2$ معـادل ۱۶۳۴ دلار برآورد شده است، این رقم در تحقیق حاضـر معادل ۲۴۷۵ هزار ریال برآورد شده است . این تفـاوت را می‌توان به متفاوت بـودن روش ارزشـگذاری نـسبت داد. بدین ترتیب می توان استنباط نمود که رقم بدسـت آمـده از این تحقیق، حـداقـل ارزش ایـن خـدمت اکوسیـستمی است.

مسلما تعمیم رقم میزان جذب گـوگرد دیوکـسید بـه کل جنگل‌های خزری که از مساحتی معـادل ۱/۹ میلیـون هکتار برخوردارند، نشانگر ارزش بـالای اکوسیـستم‌هـای جنگلی در تصفیه هـوا و زدودن آلاینـده‌هاسـت. لازم بـه ذکر است که این رقم تنها برآوردی از ارزش جنگـل در جذب یکی از چندین آلاینده‌ای است که توسط درختان جنگلی جذب می‌شود.

توجه به این نکته ضـروری اسـت کـه منطقـه مـورد مطالعه به واسطه دوری از مناطق شهری، از تراکم پـایینی از گـاز SO2 برخـوردار اسـت. مـسلما درختـان منـاطق جنگلی نزدیک به مراکـز شـهری کـه تـراکم آلاینـده در آنها بیشتر است از میزان جـذب و ارزش بـالاتری در ایـن زمینه برخوردارند.

انجـام محاسـبات مربـوط بـه تعیـین ارزش خـدمات اکوسیـستمی و از جملـه بـرآورد ارزش جـذب گازهـای آلاینده توسط گیاهان، مـی توانـد اثـرات ارزشـمندی بـه دنبـال داشـته باشـد. چـرا کـه بخـشی از علـل تخریـب اکوسیستم‌ها و بی تـوجهی بـه حفـظ و حراسـت از منـابع طبیعـی ناشـی ازعـدم آگـاهی و اطـلاع مـردم و حتـی سیاستگزاران در کشورهای مختلف از ارزش واقعـی ایـن خدمات است. بدیهی است انجام اینگونه ارزشگذاری‌هـا می تواند راه گشایی در جهت نـشان دادن هـر چـه بیـشتر ارزش این خدمات و مواهب زیستی باشد.

مسلما انجام برآورد ارزش اکوسیـستم‌هـای جنگلـی در جذب سـایرآلاینده‌هـا و اسـتفاده از سـایر روش‌هـای ارزشگذاری اقتـصادی خـدمات اکوسیـستمی در کـشور، می تواند مقایسه میان نتایج گوناگون را امکان پذیر سازد. با توجه به تنوع گونـه‌ای و خـصوصیات منحـصر بـه فـرد جنگل‌های خزری، انجام مطالعـات میـدانی و آزمایـشات تجربی در این رابطه می‌تواند منجر بـه تـدوین مـدل‌هـای خاص به منظور محاسبه میزان جذب آلاینده‌هـا و بدسـت دادن برآوردهای دقیق‌تری از ارزش جذب آلاینده‌هـا در این جنگل‌ها گردد.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه مدیران و کارشناسان شرکت کنترل کیفیت هوا که با انجام مراحل نمونه برداری و سنجش میزان آلودگی انجام این تحقیق را فراهم نمودند سپاسگزاری به عمل می‌آید.

## پی نوشت‌ها

۱- ذرات معلق در هوا با قطر کمتر از ۱۰ میکرون .

2- Deposition

3- Absorption

4- Flux

5- Surface

6- Period

7- Surface area index

8- Willingness To Pay

۹-وابسته به شهرداری تهران

## منابع

Beckett, P.K., P. Freer-Smith and G. Taylor (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99: 347–360.

Bell J. N. B. and M. Treshow (2002). *Air pollution and plant life*. Second Edition, Chichester England : WILEY.

Bidwell, R.G.S. and D. E. Fraster (1972). Carbon Monoxide uptake and Metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*, 50:1435-1439.

Broadmeadow, M.S.I and S. P. H. Freer (1996). Urban *Woodland and the Benefit for Local Air Quality*,. HSMO,London: Departman of Environment.

California Energy Commission (1992). *Electricity and air quality report. Sacramento*, CA: California Energy Commission.

Colbe, C. K. I. and R. M. Harrison (1985). Dry deposition of ozone: some Measurements of Deposition Velocity and of vertical profiles to 100 meters. *Atmospheric Environment*, 19(11): 1807-1818.

De Groot R. S., M.A. Wilson and R.M.J. Boumans (2002). A typology for the classification description and valuation of ecosystem functions, goods and Services. *Ecological Economics*, 41, 395 – 408.

Havaye Pak Afarin CO. (2008). Producer and designer of air pollution control systems .Tehran: Havaye Pak Afarin CO.

Jones G. E., B. Davies and S. Hussain. (2000). *ecological economics*, *an introduction* Oxford: Black Well Science.

Kuehn, E. (1959). Planning the City Climate. *Landscape*, 8 : 3.

Majnonian, H. (1990). *Trees and Environment*. Tehran: Iranian department of environment press.

Mazandaran Local Meteorological Office (2007). The statics of precipitation in Noshahr and Siahbisheh Stations. *http://www.mazandaranmet.ir*.

Mc Pherson, E.G., D.J. Nowak and A. A. Rowntree (1994). *Chicago's Urban Forest: result of the Chicago Urban Forest Climate Project*. North Eastern Forest Experimental Station, Delaware ,NEFES/ 94-11.

Natural Resource General Office of Noshahr-Mazandaran Province (2007). The Multipurpose Comprehensive Forestry studies of Golband watershed Region no 45.

Nowak, D.J., P.J. McHale, M. Ibarra, D. Crane, J. C. Stevens, C.J. Luley (1998). *Modeling the effects of urban vegetation on air pollution*. In:Gryning, S., Chaumerliac, N. (Eds.), Air Pollution Modeling and its Application XII, , New York: Plenum Press.

Pagiola S., K.V. Ritter and J. Bishop (2004). *Assessing the economic value of ecosystem* conservation. The World Bank Environment Department papers No 101.

Powe, N.A. and K.G. Willis (2004 ). Mortality and morbidity benefits of pollution ($PM_{10}$ and SO2 ) attributable to woodland in Britain. *Environmental Management* 70:119-128.

Shabman, L. A. & S. Batie (1978). Economic value of Natural coastal wetland, A Critique. *Coastal Zone Management Journal,* 4: 231-247.

Smith, W.H.(1990). *Air pollution and forest*. New York: Springer Verlog.

Taha, H. (1996). Modeling impacts of increased urban vegetation on ozone air quality in the South Coast air basin. *Atmospheric Environment*, 30 (20): 3423–3430.