

کاربست روش پردازش رقمی تصویر در تعیین ضریب خاموشی جو شهری تهران

سمانه ثابت قدم*، فرهنگ احمدی گیوی و یحیی گلستانی

موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۶، تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۱۳)

چکیده

شدت نور در حین عبور از جو و در طول مسیر خود ممکن است دستخوش تغییر شود. خاموشی نور در مسیر عبور از چشمه تا ناظر به علت حضور آلاینده‌های موجود در مسیر نوری رخ می‌دهد. در تحقیقات اخیر روش جدیدی برای تعیین میزان خاموشی نور (جو) با استفاده از پردازش رقمی تصویر عرضه شده است. در مقاله حاضر، پس از معرفی این روش، کاربرد آن در تعیین دقیق خاموشی جو در منطقه تهران بررسی می‌شود. برای این کار، میزان ضریب خاموشی جو در منطقه شهری تهران با استفاده از روش پردازش رقمی تصویر تعیین و با مقادیر محاسبه شده با استفاده از میزان دید افقی، برای روزهای نمونه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ مقایسه شده است. داده‌های موردنیاز از ایستگاه همدیدی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران تهیه شده و همچنین تصاویر دوربین عکاسی نیز به کار رفته است.

مقایسه ضریب خاموشی جو حاصل از پردازش تصاویر انتخابی با مقادیر برآورد شده از میزان دید افقی نشان می‌دهد که ضرایب خاموشی برآوردی دیدبانی، از مقادیر به دست آمده از تصاویر بیشتر است که احتمالاً علت آن محتاط بودن دیدبان در گزارش دیدهای بالا است. این تفاوت در دیدهای بیش از ۱۰ کیلومتر، بیشتر است. به علاوه، بررسی ضرایب خاموشی حاصل از تصاویر و مقایسه مقادیر آن با میزان غلظت برخی آلاینده‌های جو در روزهای منتخب، حاکی از آن است که افزایش غلظت آلاینده‌های گازی که طی فرایندهای شیمیایی تبدیل به ذرات با ابعاد ریز می‌شوند، نسبت به غلظت ذرات درشت، تاثیر بیشتری در افزایش میزان خاموشی تصاویر دارد.

واژه‌های کلیدی: ضریب خاموشی جو، پردازش رقمی تصویر، دید افقی

Application of a digital image processing method for determination of the atmospheric extinction coefficient for the city of Tehran

Samaneh Sabetghadam*, Farhang Ahmadi-Givi and Yahya Golestani

Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 26 April 2014, accepted: 2 February 2015)

Summary

Visibility is defined as the maximum distance at which the selected target can be recognized. Atmospheric pollutants (aerosols and gases) may cause a visibility reduction by absorbing or scattering of visible light. Both gases and particles scatter and absorb

*Corresponding author:

ssabet@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

radiation and contribute to the light extinction coefficient of the atmosphere. Atmospheric extinction in the vicinity of airports is of importance to the aviation. Moreover, although the light extinction causes no adverse health effects, it usually indicates the presence of pollutants harmful to health. These pollutants are found to be associated with health problems such as increases in daily mortality, and asthma. Therefore, light extinction is not just a visibility problem but is also a visual indicator of adverse air quality.

Atmospheric extinction coefficient is directly related to the visual air quality and represents the optical characteristics of the pollutants along an optical path that contributes to visibility impairment. Thus, the extinction coefficient is an optical parameter related to air quality.

Since the variation in human-eye observation could be highly due to different personal characteristics, the quantitative measures of atmospheric visibility are increasingly being used as indirect estimates of the air pollution especially where direct measurements are not available. Several instruments, such as telephotometers, nephelometers and transmissometers have been developed to monitor visibility. However, in recent years the digital techniques are rapidly applied in visibility monitoring. Digital cameras can be used to measure the distance of a target for computation of visibility, i.e. the digital image data can be characterized by illumination and reflectance components and translated to specific brightness values.

This study was based on a new and more accurate method for measuring the atmospheric extinction coefficient for the city of Tehran using a digital image processing technique. A series of images obtained by a digital camera were archived from May 2010 to August 2011 and some selective cases were studied in details. Moreover, the visual ranges given from the Institute of Geophysics synoptic station were also used for the same period. The meteorological visual range was the distance at which a person could discern a dark object against the horizon sky. The Koschrneider equation was applied to convert the visual range into the light extinction. First, the average image intensities of the selected images were calculated to obtain the inherent and apparent contrast ratios. Then, using these quantities, the atmospheric extinction coefficient was determined for each image.

Our results showed that there was a good agreement between the atmospheric extinction coefficients estimated from both methods, although the extinction coefficients estimated from the visual ranges were more than those of the digital image processing method. It is likely that the smaller values of the visual distances are due to the fact that they are reported by human observers at the synoptic stations. In addition, measurements of the air pollution concentration were used to investigate the influence of air pollutants on the extinction coefficients in the selected cases. Our results indicate that the light scattering by small particles formed from gaseous air pollutants, is a major contributor to light extinction rather than by large particles.

Keywords: Atmospheric extinction coefficient, Image processing, Visibility

معادله انتقال تابش بیان می‌شود که چگونگی برهم‌کنش نور و جو را نشان می‌دهد (سینفیلد و پانندیس، ۲۰۰۶). معمولاً، شدت نور در حین عبور از جو و در طول مسیر تضعیف می‌شود؛ ولی شدت نور به علت ورود

۱ مقدمه

قابلیت دید در هواشناسی، توانایی مشاهده دورترین فاصله از یک جسم سیاه است که در برابر افق آسمان قرار دارد (هوروات، ۱۹۸۱). محدوده دید به زبان ریاضی براساس

نیترات (NO_3) است (جاکوینسن، ۲۰۰۵). جذب ازن در طیف مرئی بسیار ضعیف و غلظت رادیکال‌های نیترات نیز در طول روز بسیار ناچیز است. از این رو، در بیشتر مطالعات، جمله b_{ag} در رابطه (۱) به جذب نیتروژن دی‌اکسید نسبت داده می‌شود. در مناطقی که انتشار ذرات معلق کم است، مانند مناطق غیرشهری، نقش این جمله قابل توجه است (هوروات، ۱۹۹۳).

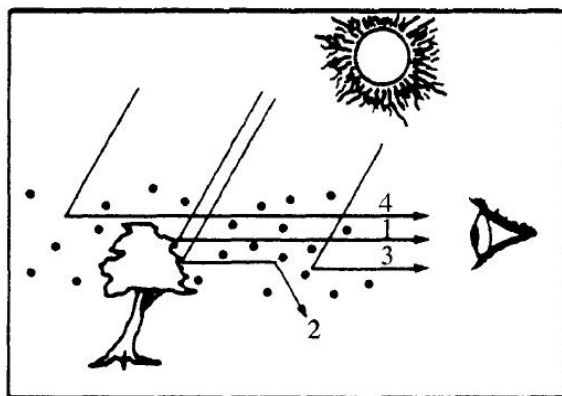
معمولاً نقش گازها نسبت به ذرات در خاموشی نور ضعیف‌تر است (پارتسینیس و همکاران، ۱۹۸۴؛ آدامز و همکاران، ۱۹۹۰). براساس تحقیقات صورت گرفته در مناطق گوناگون دنیا، اغلب جمله b_{sp} بیشترین نقش را در خاموشی کلی دارد و شامل گستره‌ای از ترکیبات هواویزها است (مالم و همکاران، ۲۰۰۱). در مناطق شهری به علت صنعتی شدن، هواویزهای بیشتری ایجاد شده است (چارلسون، ۱۹۶۹) که با جذب و پراکنش نور خورشید منجر به کاهش دید می‌شود. در رابطه (۱)، جمله b_{ap} بیشتر مربوط به جذب نور توسط ذرات کربن‌دار است (گرویلیکی، ۱۹۸۱).

ضریب خاموشی جو با استفاده از روش‌های متفاوت تعیین می‌شود. ضریب خاموشی را می‌توان با اندازه‌گیری پخش و عبوردهی نور در دستگاه‌های اندازه‌گیری از جمله

نورهای اضافه از محیط نیز دستخوش تغییر می‌شود. نور اضافه شده به مسیر نوری ممکن است ناشی از پراکنش و بازتاب نور خورشید از سطح‌ها و همچنین ناشی از مولکول‌های هوا و هواویزهای موجود در مسیر باشد (شکل ۱). خاموشی نور در مسیر عبوری از چشمه تا ناظر متناسب با غلظت آلاینده‌های موجود در مسیر نوری تغییر می‌کند. تعیین کاهش میدان دید بستگی به ویژگی‌های فیزیکی جو و جذب و پراکنش نور با ذرات و گازها دارد؛ بنابراین ضریب خاموشی جو معمولاً به شکل مجموع ضریب پراکنش b_{scat} و جذب b_{abs} نشان داده می‌شود (ایدلس-دوبوی، ۲۰۰۲):

$$b_{ext} = b_{scat} + b_{abs} = b_{sg} + b_{sp} + b_{ag} + b_{ap} \quad (1)$$

در رابطه بالا، ضریب پراکنش (b_{scat}) مجموع مولفه‌های مربوط به پراکنش با گازها (b_{sg}) و ذرات (b_{sp}) و ضریب جذب (b_{abs}) نیز مجموع جذب با گازها (b_{ag}) و ذرات (b_{ap}) است. تنها فرایند مهم در پراکنش گازها، پراکنش ریلی است که به پراکنندگی نور با مولکول‌های هوا (عمدتاً O_2 و N_2) مربوط می‌شود که شعاعی کوچک‌تر از طول موج نور مرئی دارند. جذب نور در گازهای جو نیز عمدتاً مربوط به نیتروژن دی‌اکسید (NO_2)، ازن (O_3) و



شکل ۱. عوامل گوناگون تاثیرگذار در میزان دید. اعداد شکل به ترتیب بیانگر (۱) پرتو نور رسیده از جسم به ناظر، (۲) پرتو پراکنده شده از مسیر نوری، (۳) پرتو نور اضافه شده به مسیر نوری و (۴) نور اضافه شده از افق پس‌زمینه هستند (سینفیلد و پاندیس، ۲۰۰۶).

نسبی زیاد که ناشی از شرایط محلی است، تا اواسط روز از بین می‌رود و در نتیجه مقادیر میان‌روز می‌تواند بیانگر تراز دید منطقه باشد (لی، ۱۹۹۰). لازم به ذکر است که آزمایش‌های حساسیت‌سنجی در یک دوره ۵۰ ساله نشان می‌دهد که انتخاب ساعت‌های متفاوت روز از قبیل ۹ صبح یا ۳ بعدازظهر اثری بر نتایج حاصل ندارد (ثابت‌قدم و همکاران، ۲۰۱۲). برای برآورد ضریب خاموشی براساس میدان دید افقی گزارش شده در ایستگاه‌های همدیدی از روابط زیر استفاده می‌شود.

جسم سیاهی را در نظر می‌گیریم که در مقابل پس‌زمینه‌ای روشن و در مکان x_0 قرار دارد. فرض می‌شود که جسم سیاه از خود هیچ نوری را بازتاب و منتشر نمی‌کند، در نتیجه شدت تابش در x_0 برابر صفر است ($I_0 = 0$). با افزایش فاصله بین جسم و ناظر، نور بازتاب شده از سوی پس‌زمینه به میزان نور دریافتی ناظر افزوده می‌شود. همچنین نور منتشر شده از سوی پس‌زمینه، در ذرات و گازهای موجود در مسیر جذب و پراکنده می‌شود. بنابراین در فاصله دور از جسم، میزان زیادی از نور پس‌زمینه و پراکنده شده با وارد شدن به میدان دید ناظر، موجب می‌شود که جسم به وضوح دیده نشود (جاکوبسن، ۲۰۰۵). اگر I_B شدت نور پس‌زمینه باشد، تغییرات شدت نور برحسب فاصله برابر است با:

$$\frac{dI}{dx} = b_b I_B - b_{ext} I, \quad (2)$$

که I شدت نور دریافتی، b_b ضریب پس‌زمینه و b_{ext} ضریب خاموشی ناشی از ذرات و گازهای موجود در مسیر نور است. جمله $b_{ext} I$ خاموشی کلی به‌علت جذب و پراکنش نور در ذرات و گازها را نشان می‌دهد. اگر تغییرات I_B نسبت به فاصله ثابت فرض شود، با انتگرال‌گیری رابطه (۲) از ۰ تا x نسبت تضاد حاصل می‌شود (جاکوبسن، ۲۰۱۲):

$$C_{ratio} = \frac{I_B - I}{I_B} = e^{-b_{ext} x}, \quad (3)$$

نفلومتر و ترنسمیسومتر تعیین کرد. نفلومتر میزان ذرات موجود در جو را با استفاده از پرتو مستقیم نور و یک آشکارساز مشخص می‌کند. اساس کار نفلومتر تعیین میزان تضعیف نور در پراکنش است که از اندازه‌گیری تجمعی پراکنش پیش‌سو و پس‌سو استفاده می‌کند (بوتل و بروئر، ۱۹۴۹). ترنسمیسومتر نیز که معمولاً در فرودگاه‌ها از آن استفاده می‌شود، میزان ضریب خاموشی جو را براساس میزان گذرایی نور لیزر در جو تعیین می‌کند (پک و زانوت، ۱۹۸۳). در شرایطی که دستگاه‌های اندازه‌گیری در دسترس نباشد، ضریب خاموشی از میدان دید افقی گزارش شده دیدبانی انسانی و با استفاده از رابطه کشمایدن محاسبه می‌شود (بامر و همکاران، ۲۰۰۸). در تحقیقات اخیر روش جدیدی برای تعیین میدان دید افقی یا میزان خاموشی جو با استفاده از پردازش رقمی تصویر عرضه شده است (لو و همکاران، ۲۰۰۵؛ پوخرل و لی، ۲۰۱۱). در مقاله حاضر، علاوه بر معرفی روش پردازش رقمی تصویر، کاربرد آن در تعیین دقیق خاموشی جو در منطقه تهران بررسی می‌شود.

۲ داده‌ها و روش کار

داده‌های استفاده شده در این مقاله، به دو دسته تقسیم می‌شود. دسته اول شامل دیدبانی‌های روزانه ایستگاه هواشناسی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از کمیت میدان دید است. دیدبان‌ها، اغلب با در نظر گرفتن نشانه‌های مشاهداتی (از جمله ساختمان‌های بلند، درخت‌ها و کوه‌ها) در فاصله‌های معین از ایستگاه هواشناسی، میدان دید را اندازه‌گیری می‌کنند. دید افقی در ایستگاه‌های همدیدی شهر تهران در فاصله‌های زمانی سه ساعته گزارش می‌شود. در این پژوهش، اطلاعات مربوط به ساعت ۱۲ گرینویچ درحکم داده‌های اصلی انتخاب شده‌اند، زیرا مقادیر میان‌روز برای مطالعاتی از این قبیل بسیار مناسب‌تر هستند. مه تابشی صبحگاهی و رطوبت

$$0 < f(x, y) < \infty$$

تابع $f(x, y)$ با دو مولفه مشخص می‌شود که یک مولفه میزان نور دریافتی و دیگری میزان بازتاب نور از سوی منظره است. این دو مولفه به ترتیب مولفه‌های روشنایی $i(x, y)$ و بازتابندگی $r(x, y)$ نامیده می‌شوند. بنابراین می‌توان تابع $f(x, y)$ را به شکل ترکیبی از $i(x, y)$ و $r(x, y)$ به صورت زیر نشان داد (پترو و بسدوجیانی، ۱۹۹۹):

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (۵)$$

که

$$0 < i(x, y) < \infty$$

$$0 \leq r(x, y) \leq 1$$

بازتابندگی در محدوده صفر (جذب کامل) و ۱ (بازتاب کامل) متغیر است و مقدار $i(x, y)$ نیز از ویژگی‌های منظره تعیین می‌شود. شدت نور در تصویر تک‌رنگ f و با مختصات (x, y) ، معمولاً با طیف خاکستری (l) و شدت روشنایی آن نقطه نشان داده می‌شود. محدوده تغییرات l به شکل زیر است:

$$L_{\min} \leq l \leq L_{\max}$$

تنها محدودیت رابطه بالا این است که L_{\min} باید مثبت و L_{\max} باید متناهی باشد. محدوده $[L_{\min}, L_{\max}]$ مقیاس خاکستری نامیده می‌شود. معمولاً این بازه به شکل عددی $[0, L-1]$ است که در این مقیاس، عدد صفر برای رنگ مشکی و $l = L-1$ برای رنگ سفید در نظر گرفته می‌شود. بقیه رنگ‌ها در تصویر، سایه‌های خاکستری واقع در محدوده سیاه تا سفید هستند. تصویر در طیف خاکستری فقط با یک مولفه روشنایی بیان می‌شود. برای توصیف یک تصویر رقمی نیاز به اطلاعات مختصات مکانی و میزان روشنایی طیف خاکستری در آن مکان است. این اطلاعات با یک ماتریس M در N مطابق رابطه زیر نشان داده می‌شود (پترو و بسدوجیانی، ۱۹۹۹):

که C_{ratio} بیانگر نسبت شدت نور پس‌زمینه و جسم و فاصله x برابر با میدان دید است. بنابراین ضریب خاموشی با استفاده از رابطه زیر، به نام رابطه کشمایدنر، براساس میدان دید افقی (V) برآورد می‌شود:

$$b_{ext} = \frac{3.912}{V} \quad (۴)$$

کمیت‌های V و b_{ext} دارای واحد مشابه هستند. در این رابطه فرض شده است که ناظر قابلیت آشکارسازی تضاد روشنایی ۰/۰۲ را دارد که این قابلیت برای ناظری با دید عادی در عمل امکان‌پذیر است (میدلتون، ۱۹۵۲). در جو پاک، محدوده دید بین ۱۴۵ تا ۲۲۵ کیلومتر است. در جو معمولی، میدان دید بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتر متغیر و در مناطق آلوده از این مقدار کمتر است (وو و همکاران، ۲۰۱۲).

دسته دوم داده‌ها شامل بانک اطلاعاتی تصاویر دوربین عکاسی رقمی (دیجیتال) است که از محل ایستگاه هواشناسی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در جهت‌های گوناگون گرفته شده است. این تصاویر با دوربین عکاسی فوجی فیلم مدل Z20fd با توان تفکیک ۱۰ مگاپیکسل به دست آمده و مربوط به ساعت‌های متفاوت روز برای ماه مه ۲۰۱۰ تا اوت ۲۰۱۱ است. اطلاعات مربوط به ساعت ۱۲ گرینویچ در حکم داده‌های اصلی برای بررسی انتخاب شده است. تصاویر برای پردازش دقیق، با نسخه ۱۱ نرم‌افزار پردازش تصویر فوتوشاپ رقمی شده و با الگوریتمی که در ادامه توضیح داده می‌شود، برای تعیین ضریب خاموشی جو به کار می‌روند.

تصویر در اصطلاح به تابع دو بُعدی از شدت نور گفته شده که به شکل $f(x, y)$ نشان داده می‌شود. اندازه تابع $f(x, y)$ در هر مختصات مکانی، نشانگر شدت روشنایی تصویر در آن مکان است. از آنجاکه نور شکلی از انرژی است، بنابراین $f(x, y)$ باید غیر صفر و محدود باشد؛ یعنی:

$$C_w = \frac{L_o}{L_b} - 1, \quad (V)$$

و L_o و L_b به ترتیب روشنایی هدف و پس‌زمینه هستند. برای محاسبه تضاد ذاتی و تضاد ظاهری از تصاویر رقمی، میانگین روشنایی پیکسل‌های انتخابی برای سه رنگ سرخ، سبز و آبی تعیین و سپس با استفاده از رابطه (V) به روشنایی تصویر خاکستری تبدیل می‌شود. تضاد ذاتی (C_o) با استفاده از تصاویر رقمی در شرایط جو پاک و در سه جهت شمال، غرب و جنوب تعیین می‌شود. تضاد ظاهری (C_r) نیز برای هر تصویر محاسبه می‌شود. این مقادیر برای محاسبه ضریب خاموشی نور با استفاده از رابطه زیر به کار می‌رود:

$$b_{ext} = \frac{1}{r} \ln\left(\frac{R_n C_o}{C_r}\right), \quad (A)$$

که r فاصله دوربین تا هدف موردنظر است و با استفاده از طول و عرض جغرافیایی و سامانه اطلاعات جغرافیایی تعیین می‌شود. R_n نسبت رادیانس آسمان است که در محاسبات معمولاً برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، الگوریتم انجام پردازش رقمی تصویر در مقاله حاضر به شرح است:

- تصویربرداری در جهت مشابه از محل ایستگاه هواشناسی موسسه ژئوفیزیک،
- تبدیل تصاویر رقمی تهیه شده به تصویر رقمی تک‌رنگ (تراز خاکستری) با استفاده از رابطه (۶)،
- تعیین هدف و پس‌زمینه در تصویر مرجع که غلظت آلاینده‌ها کم است،
- محاسبه تضاد ذاتی هدف و پس‌زمینه با استفاده از رابطه وبر،
- تعیین هدف و پس‌زمینه در تصویر روز موردنظر و انتخاب بخشی از تصویر برای تعیین روشنایی پس‌زمینه و هدف،

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & \dots & f(0,N-1) \\ \vdots & & \\ f(M-1,0) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

هر درایه از این ماتریس یک پیکسل (عنصر تصویر) است که طیف خاکستری را در مختصات (x, y) نشان می‌دهد. یک تصویر رقمی خاکستری k بیتی دارای 2^k طیف است. در تصاویر استفاده شده در پژوهش حاضر، اندازه‌گیری‌ها ۸ بیتی‌اند؛ بنابراین مقادیر طیف خاکستری بین صفر تا ۲۵۵ تغییر می‌کند.

تصاویر رنگی دارای سه مولفه استاندارد سرخ، سبز و آبی هستند. هر پیکسل در تصویر رنگی از روشنایی رنگ این سه مولفه، یعنی L_R (سرخ)، L_G (سبز) و L_B (آبی) تشکیل می‌شود. یک تصویر رنگی با رابطه زیر به تصویر خاکستری تبدیل می‌شود:

$$L = \frac{L_R + L_G + L_B}{3}, \quad (6)$$

در این مقاله، برای بررسی تصاویر از طیف خاکستری استفاده شده است. روشنایی هر پیکسل کمیتی بی‌بعد و متناسب با شدت انرژی دریافت شده از خورشید است. تضاد، با استفاده از روشنایی پیکسل‌ها تعیین می‌شود. بنابراین شدت روشنایی متوسط تصویر برای یک محدوده موردنظر در آن تصویر، با تابع بافت‌نگار (هیستوگرام) به دست می‌آید و سپس نسبت تضاد ذاتی (C_o) و ظاهری (C_r) محاسبه می‌شود. برای ترسیم تابع بافت‌نگار می‌توان مقادیر رنگ برای هر کانال خاص (سرخ، سبز و آبی) یا روشنایی کانال ترکیبی را انتخاب کرد. برای تعیین نسبت تضاد در تصاویر، ابتدا دو بخش از تصویر انتخاب می‌شود که یک بخش پس‌زمینه آسمان و دیگری هدف موردنظر (برای نمونه کوه یا ساختمان) است. تابع بافت‌نگار برای پیکسل‌های انتخاب شده رسم می‌شود و تضاد با استفاده از رابطه زیر که رابطه تضاد وبر نامیده می‌شود، به دست می‌آید:

۳ نتایج

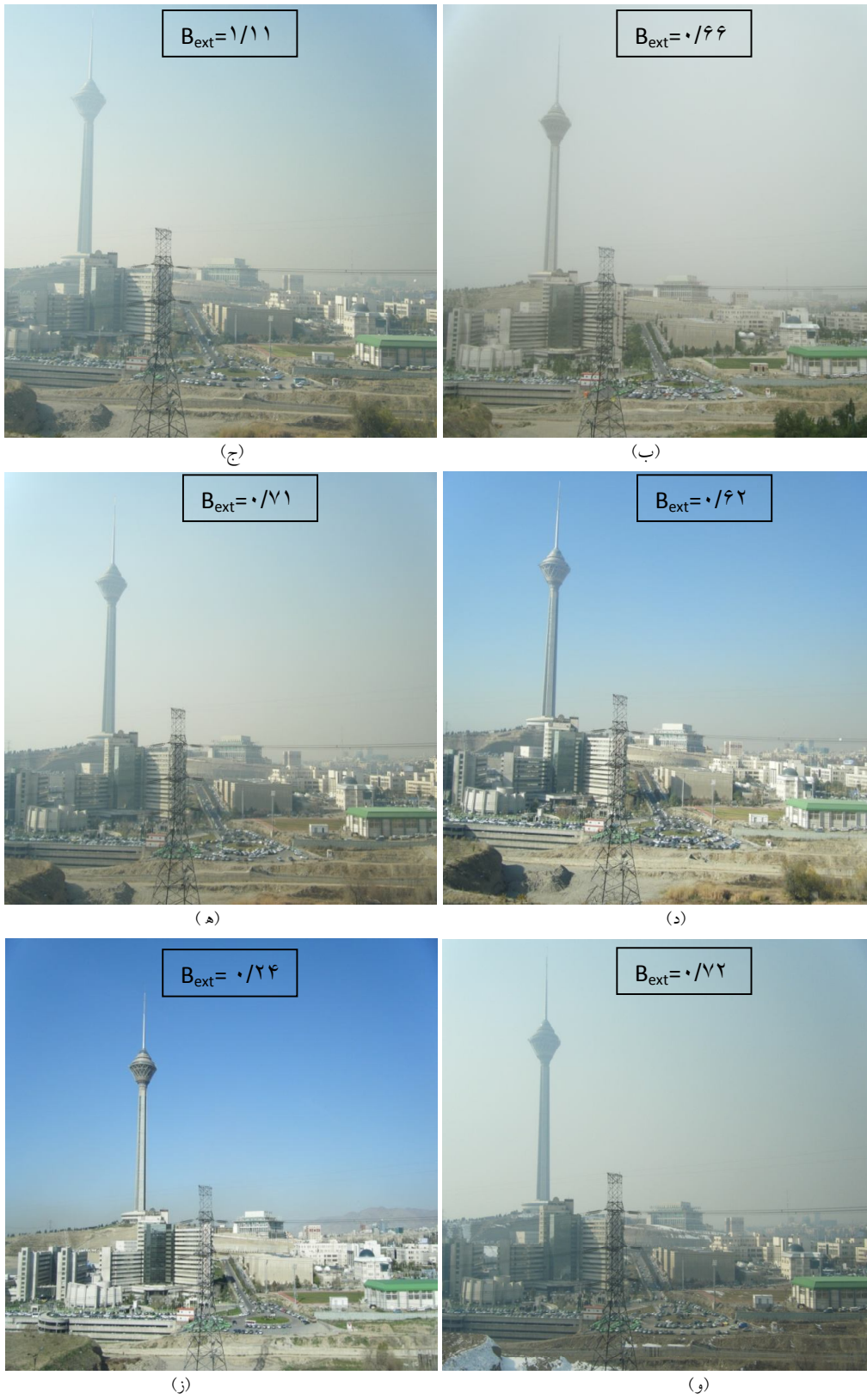
از مجموعه تصاویر تهیه شده در دوره زمانی ماه مه ۲۰۱۰ تا اوت ۲۰۱۱، دو روز برای نمونه روزهای پاک و پنج روز برای نمونه روزهای آلوده انتخاب شده است تا با استفاده از آنها خاموشی جوّ مربوط به تصاویر تعیین شود. شکل ۲ تصاویر مربوط به دو روز پاک و پنج روز آلوده را نشان می‌دهد. تصویر یک روز پاک (شکل ۲-الف) درحکم مرجع برای تعیین تضاد واقعی به کار رفته است و بقیه تصاویر با الگوریتمی که در بخش قبل توصیف شد، برای تعیین تضاد ظاهری استفاده شده‌اند. ابتدا تصاویر مربوط به روزهای پاک و آلوده رقمی شده و سپس روشنایی هر تصویر برای رنگ‌های سرخ، آبی و سبز تعیین و با استفاده از رابطه (۶)، تراز روشنایی هر پیکسل برای طیف خاکستری محاسبه می‌شود. مقدار روشنایی هر،

- محاسبه تضاد ظاهری با استفاده از رابطه وبر،
 - تعیین فاصله دقیق هدف و دوربین با استفاده از اطلاعات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی محل دوربین و هدف)،
 - محاسبه ضریب خاموشی با مقایسه تضاد روشنایی ذاتی و ظاهری با استفاده از رابطه (۸)،
 - تعیین ارتباط بین مقادیر ضریب خاموشی محاسبه شده و داده‌های دید افقی دیدبانی شده از ایستگاه همدیدی موردنظر.
- براساس الگوریتم فوق، ضریب خاموشی جوّ با استفاده از روش پردازش رقمی تصویر تعیین و با مقادیر متناظر حاصل از میزان دید افقی، برای روزهای نمونه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ مقایسه شده است.



(الف)

شکل ۲. تصاویر تهیه شده از محل ایستگاه موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در روزهای (الف) دهم آوریل ۲۰۱۱ درحکم تصویر مرجع، (ب) بیستم می، (ج) بیست و هفتم نوامبر، (د) پنجم دسامبر، (ه) بیست و ششم دسامبر ۲۰۱۰، (و) بیست و دوم ژانویه و (ز) سوم آوریل ۲۰۱۱ برای تعیین تضاد. میزان ضریب خاموشی هر روز روی تصویر نوشته شده است.



شکل ۲. ادامه.

است. در صورت در دسترس بودن مجموعه کاملی از تصاویر در دوره آماری طولانی، می‌توان رابطه خطی دقیق و عمومی مقادیر خاموشی حاصل از داده‌های دیدبانی و مقادیر به‌دست آمده از پردازش تصویر رقمی را با استفاده از نمونه‌های آماری بیشتر تعیین کرد.

در ادامه، ضریب خاموشی تصاویر و میزان غلظت برخی آلاینده‌های جوّی در روزهای مورد بررسی در جدول ۲ داده شده است. در روز سوم آوریل، غلظت آلاینده‌های جوّی بسیار کم است و بنابراین ضریب خاموشی مقدار کمی (۰/۲۴) دارد. روز بیستم مه، غلظت آلاینده‌ها به‌خصوص غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. در این روز، ضریب خاموشی تصویر ۰/۶۶ محاسبه شده است. افزایش غلظت آلاینده‌ها در روز بیست و دوم ژانویه ۲۰۱۱ نیز مشاهده می‌شود، با این تفاوت که ذرات معلق در این روز افزایش چشمگیری نشان نمی‌دهد. باوجوداین، میزان خاموشی تصویر در این روز (۰/۷۲) از خاموشی روز بیستم مه ۲۰۱۰ بیشتر است. بیشترین میزان ضریب خاموشی مربوط به روز بیست و هفتم نوامبر ۲۰۱۰ است؛ که میزان غلظت همه آلاینده‌ها به‌صورت قابل توجهی از دیگر روزهای مورد

پیکسل بین صفر (رنگ سیاه) تا ۲۵۵ (رنگ سفید) تغییر می‌کند. روشنایی پس‌زمینه که مربوط به آسمان است، در تصاویر گوناگون از ۱۶۶/۳۴ تا ۲۰۵/۶۵ به‌ترتیب برای روزهای پاک و آلوده متغیر است. با استفاده از رابطه (۷) تضاد بین پس‌زمینه آسمان و هدف (که ساختمان برج میلاد در نظر گرفته شده است) محاسبه می‌شود. تضاد تصاویر در محدوده ۰/۳۷- تا ۰/۱۵- تغییر می‌کند. سپس ضریب خاموشی جوّ از رابطه (۸) به‌دست می‌آید. مقادیر خاموشی تعیین شده برای هر تصویر روی آن در شکل ۲ داده شده است. با توجه به جدول ۱، برای تعداد نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، رابطه خطی قابل‌قبولی بین داده‌های دیدبانی، b_{obs} ، و مقادیر به‌دست آمده از پردازش تصویر رقمی، b_{im} ، به شکل $b_{obs} = 0.57b_{im} + 0.52$ وجود دارد. این رابطه نشان می‌دهد که ضریب خاموشی جوّ برآورد شده از دیدبانی از مقادیر متناظر مربوط به تصاویر بیشتر است. این مسئله احتمالاً ناشی از احتیاط دیدبان در گزارش دیدهای بالا است؛ زیرا در بسیاری از موارد، دیدبان میزان دید را کمتر از مقدار واقعی گزارش می‌دهد و بنابراین خاموشی بیش از واقعیت برآورد می‌شود. این تفاوت در دیدهای بیش از ۱۰ کیلومتر، بیشتر

جدول ۱. مقایسه ضریب خاموشی جوّ به‌دست آمده از پردازش تصویر و دیدبانی دید افقی.

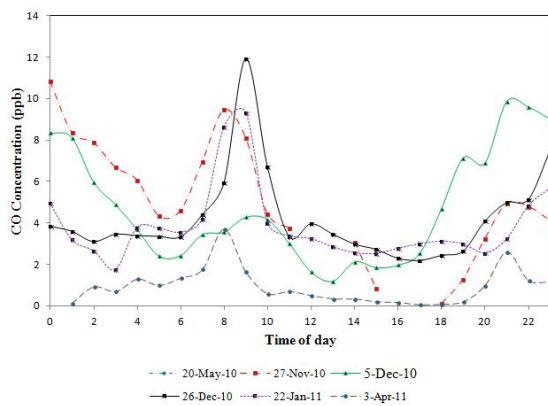
Date	$b_{ext}(\text{Image-processing}) \text{ in } \text{km}^{-1}$	$b_{ext}(\text{Koschmider-visibility}) \text{ in } \text{km}^{-1}$
20 th May 2010	0.66	0.98
27 th Nov. 2010	1.11	1.3
5 th Dec. 2010	0.62	1.3
26 th Dec. 2010	0.71	0.78
22 nd Jan. 2011	0.71	0.98
3 rd April 2011	0.24	0.39

هستند و در روزهایی که ضریب خاموشی کمتر است دامنه تغییرات شبانه‌روزی آلاینده‌ها نیز بسیار اندک است.

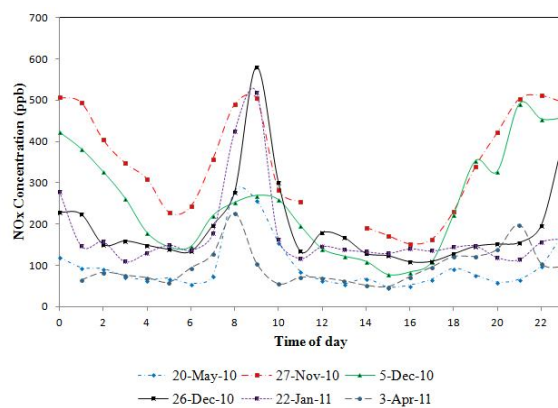
۳ نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر میزان ضریب خاموشی جو در منطقه شهری تهران با استفاده از روش پردازش رقمی تصویر محاسبه و با مقادیر متناظر حاصل از میزان دید افقی، برای روزهای نمونه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ مقایسه شده‌است. برای این پژوهش، از داده‌های ایستگاه همدیدی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و همچنین تصاویر

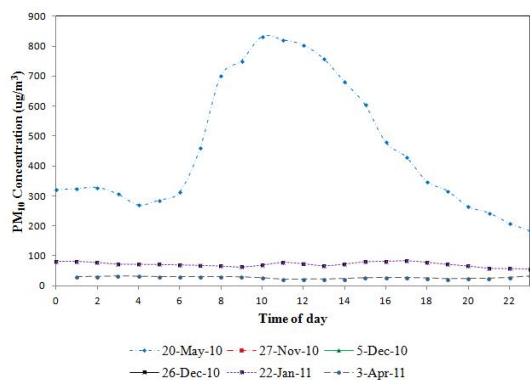
بین بررسی بیشتر است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که افزایش غلظت آلاینده‌های گازی نسبت به غلظت ذرات درشت، تاثیر بیشتری بر میزان خاموشی تصویر دارد. آلاینده‌های گازی طی فرایندهای شیمیایی تبدیل به ذرات با ابعاد ریز می‌شوند که در افزایش میزان خاموشی تاثیرگذارتر هستند (مالم، ۱۹۹۹). تغییرات شبانه‌روزی میزان غلظت آلاینده‌های NO_x ، CO ، SO_2 و PM_{10} به مثابه نمونه‌ای از آلاینده‌های گازی و ذره‌ای در روزهای مورد بررسی در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود تغییرات دارای دامنه شبانه‌روزی متفاوتی



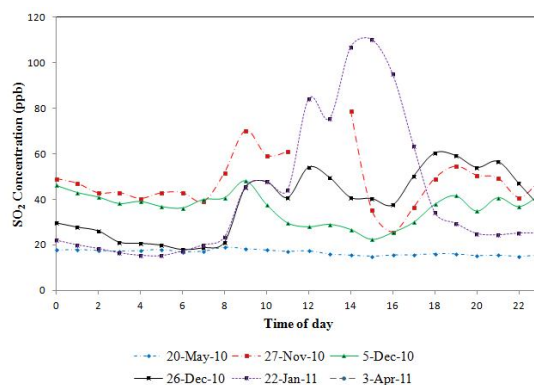
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳. تغییرات ساعتی غلظت آلاینده (الف) NO_x ، (ب) CO ، (ج) SO_2 و (د) PM_{10} در روزهای مورد بررسی در ایستگاه موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

جدول ۲. ضریب خاموشی جو و میزان غلظت آلاینده‌های جوئی در ایستگاه موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای روزهای نمونه.

Date	B _{ext}	CO	NO ₂	NO	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	Km ⁻¹	ppm	ppb	ppb	ppb	Microg/m ³	Ppb
20 th May 2010	0.66	-	33.41	63.27	97.17	461.018	16.73
27 th Nov. 2010	1.11	5.20	95.71	249.81	346.02	-	48.10
5 th Dec. 2010	0.62	4.70	73.00	176.97	250.48	-	36.44
26 th Dec. 2010	0.71	4.18	63.29	131.16	194.95	-	38.58
22 nd Jan. 2011	0.71	3.85	69.79	103.61	173.88	71.16	41.96
3 rd April 2011	0.24	0.93	84.33	11.63	96.45	27.70	-

دست داشتن مجموعه کاملی از تصاویر در ساعت‌های گوناگون روز، به بررسی دقیق نقش غلظت آلاینده‌های جوئی و تعیین هم‌بستگی غلظت آلاینده‌ها با میزان ضریب خاموشی جو پرداخته شود.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، به نظر می‌رسد که استفاده از روش پردازش رقمی تصویر شیوه‌ای مناسب برای تعیین میزان دید افقی و تعیین خاموشی جو است. در صورتی که مجموعه کاملی از تصاویر در دسترس باشد، این تصاویر می‌توانند جایگزین مناسبی برای داده‌های دید افقی باشند و مقادیر حد بالای دید را با دقت بیشتری تعیین کنند. استفاده از روش پردازش رقمی تصویر در مقایسه با روش اندازه‌گیری دستگاهی معرفی شده در بخش ۱، از جنبه اقتصادی به صرفه‌تر و براساس نتایج به‌دست آمده در این مقاله نسبت به روش دیدبانی دقیق‌تر است. ایراد کاربرد روش پردازش تصویر برای تعیین خاموشی جو، فرایند نسبتاً پیچیده محاسبات و نبود کاربردی آن در زمان واقعی است. همچنین با توجه به شرایط جوئی متفاوتی که در زمان تصویربرداری در طول سال وجود دارد، ممکن است برخی از تصاویر غیر قابل استفاده باشند که این امر

دوربین عکاسی استفاده شده است.

مقایسه ضریب خاموشی جو حاصل از پردازش تصاویر انتخابی با مقادیر برآورد شده از میزان دید افقی نشان می‌دهد که رابطه خطی قابل‌قبولی بین نتایج مربوط به دو روش وجود دارد. لازم به ذکر است که ضرایب خاموشی جو برآوردی از دیدبانی از مقادیر متناظر مربوط به پردازش تصاویر بیشتر است که این تفاوت احتمالاً به علت محتاط بودن دیدبان در گزارش دیدهای بالا است. در بسیاری از موارد، دیدبان میزان دید را کمتر از مقدار واقعی گزارش می‌کند و در نتیجه خاموشی بیش از واقعیت برآورد می‌شود. این تفاوت در دیدهای بیش از ۱۰ کیلومتر، بیشتر است.

از دیگر نتایج، بررسی ضرایب خاموشی تصاویر و مقایسه مقادیر آن با میزان غلظت برخی آلاینده‌های جوئی در روزهای منتخب، حاکی از آن است که افزایش غلظت آلاینده‌های گازی که طی فرایندهای شیمیایی تبدیل به ذرات با ابعاد ریز می‌شوند، نسبت به غلظت ذرات درشت، تاثیر بیشتری در افزایش میزان خاموشی تصاویر دارد. برای ارزیابی بیشتر این نتیجه، لازم است در تحقیقات آتی با در

- Lee, D., 1990, The influence of wind direction, circulation type and air pollution emissions on summer visibility trends in southern England: *Atmos. Environ.*, **24**, 195-201.
- Luo, C., Liu, S., and Yuan, C., 2005, Investigation of Urban atmospheric visibility by high-frequency extraction: Model development and field test: *Atmos. Environ.*, **39**, 2545-2552.
- Petrou, M., and Bosdogianni, P., 1999, *Image Processing: The Fundamentals*: John Wiley & Sons.
- Pokhrel, R. and Lee, H., 2011, Algorithm development of a visibility monitoring technique using digital image analysis: *Atmos. Environ.*, **5**, 8-20.
- Sabetghadam, S., Ahmadi-Givi, F., and Golestani, Y., 2012, Visibility trends in Tehran during 1958-2008: *Atmos. Environ.*, **62**, 512-520.
- Seinfeld, H., and Pandis, N., 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics-from Air Pollution to Climate Change: Second edition*, John Wiley & Sons.
- Wu, J., Fu, C., Zhang, L., and Tang, J., 2012, Trends of visibility on sunny days in China in the recent 50 years: *Atmos. Environ.*, **55**, 339-346.
- Malm, W. C., 1999, *Introduction to visibility: Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIARA)*, Ft. Collins, Colorado.
- Malm, W. C., and Day, D. E., 2001, Estimates of aerosol species scattering characteristics as a function of relative humidity: *Atmos. Environ.*, **35**, 2845-2860.
- Middleton, W., 1952, *Vision through the Atmosphere*, University of Toronto Press.
- Pak, H. and Zanevtd, J., 1983, Temporal variations of beam attenuation coefficient on the continental rise off Nova Scotia: *J. Geophys. Res.*, **88**, 4427-4432.
- Partsinis, S., Novakov, T., Ellis, E., and Friedlander, S., 1984, The carbon containing component of the Los Angeles aerosol: Source apportionment and contributions to the visibility budget: *JAPCA J. Air. Waste. Ma.*, **34**, 643-650.
- می‌تواند منجر به محدود شدن تعداد بررسی‌های موردی شود.
- منابع
- Adams, K., Davis, L., Japar, S., and Finley, D., 1990, Real-time, in situ measurements of atmospheric optical absorption in the visible via photoacoustic spectroscopy-visibility degradation and aerosol optical properties in Los Angeles: *Atmos. Environ.*, **24**, 605-610.
- Baumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Mohler, O., and Schnaiter, M., 2008, Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany: *Atmos. Environ.*, **42**, 989-998.
- Beuttell, R. G., and Brewer, A. W., 1949, Instruments for the measurement of the visual range: *Journal of Science and Instruction.*, **26**, 357-359.
- Charlson, R., 1969, Atmospheric visibility related to aerosol mass concentration: A review: *Envir. Sci. Tech. Lib.*, **10**, 913-918.
- Eidels-Dubovoi, S., 2002, Aerosol impacts on visible light extinction in the atmosphere of Mexico City: *Sci. Tot. Environ.*, **287**, 213-220.
- Groblicki, P., Wolff, G., and Countess, R., 1981, Visibility-reducing species in the Denver "Brown Cloud" relationships between extinction and chemical composition: *Atmos. Environ.*, **15**, 2473-2484.
- Horvath, H., 1981, Atmospheric visibility: *Atmos. Environ.*, **15**, 1785-1796.
- Horvath, H., 1993, Atmospheric light absorption: A review: *Atmos. Environ.*, **27**, 293-317.
- Jacobson, M., 2005, *Fundamentals of Atmospheric Modeling*. Cambridge University Press.
- Jacobson, M., 2012, *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions*: Cambridge University Press.