

روش جدید تخمین آلودگی صوتی جاده‌ها با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی

* دکتر محمود صفارزاده پاریزی

کلمات کلیدی:

آلودگی صوتی - جاده‌ها - درجه حرارت - باد.

چکیده:

آثار منفی سر و صدای مزاحم یا آلودگی صوتی (Noise Pollution) روی انسانها برکسی پوشیده نیست. نحوه تأثیر آلودگی صوتی بر محیط اطراف و روشهای محاسبه و برآورد آن از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله نقش و اهمیت عوامل آب و هوایی مانند درجه حرارت و باد در اندازه گیری میزان آلودگی و تأثیر شگرف شرایط آب و هوایی، بر میزان آلودگی صوتی در فضاهای اطراف جاده‌ها تبیین گردیده است. در روشهای قبلی اندازه گیری میزان سر و صدا، عوامل محیطی را مورد نظر قرار نمی دادند. در این مقاله روشی جدید با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی برای تصحیح و برآورد میزان آلودگی صوتی در اطراف جاده‌ها توضیح داده شده است. این روش هم اکنون برای محاسبه میزان سر و صدا پیرامون شبکه راههای کشور فرانسه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

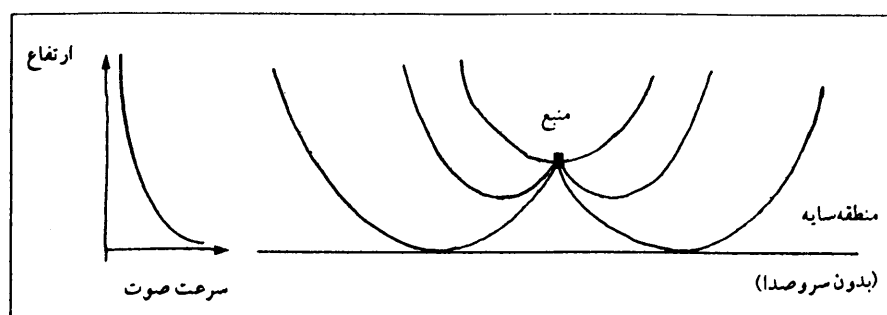
مقدمه :

صوت و وضعیت جوی یکنواخت، متفاوت است. وضعیت مذکور روی میزان سر و صدا در فواصل زیاد از منبع صوت اثر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. با توجه به مطالب مذکور می‌توان گفت که عمدتاً دو عامل آب و هوایی درجه حرارت و باد، تأثیر بسزایی در انتشار صوت دارند.

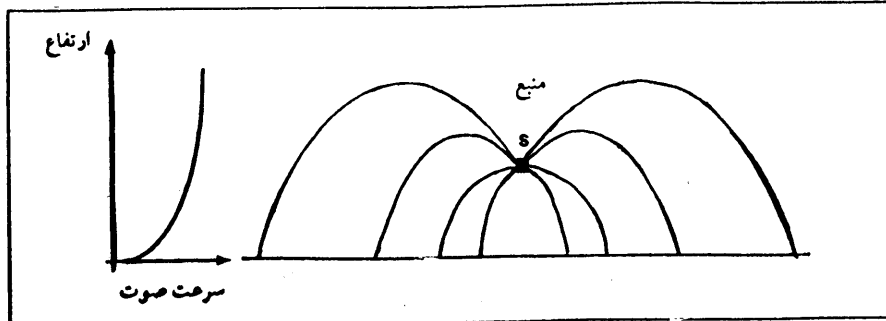
۱ - اثر درجه حرارت

با افزایش دما، سرعت حرکت صوت در هوا افزایش می‌یابد. تفاوت تبادل حرارتی زمین و هوا، پوشش ابری و تابش خورشید، باعث تغییر در دمای هوا در لایه‌های پایتتر جو به نسبت ارتفاع آن از سطح زمین می‌گردد. این پدیده به نام آفت حرارتی شناخته می‌شود که به تغییر سرعت صوت در لایه‌های مختلف منجر می‌شود. در یک روز آفتابی، خورشید زمین را گرم می‌کند و سپس زمین، حرارت خود را به لایه‌های پایینی جو پس می‌دهد. با گرم شدن لایه‌های پایینی جو، حرکت صوت به سمت بالا تغییر مسیر می‌دهد (شکل ۱). در این حالت، تأثیر گرمای زمین، به نسبت حالت انتشار مستقیم صوت، باعث کاهش سطح آلودگی صوتی در اطراف جاده می‌شود. به دلیل این وضعیت، در فواصل دور از محور جاده نیز، منطقه‌ای ایجاد می‌شود که هیچگونه سرو صدایی به طور مستقیم وارد این منطقه نمی‌شود و وجود سرو صدای بسیار پایین در این حوزه نیز، فقط به دلیل پدیده آشفته‌گی صوتی است. به همین خاطر است که از چنین شرایطی به عنوان شرایط نامطلوب انتشار صوت نام برده می‌شود.

تا این اواخر در برآوردهایی که برای تعیین میزان آلودگی صوتی ناشی از رفت و آمد در جاده‌ها انجام می‌شد، تأثیر شرایط آب و هوایی مد نظر قرار نمی‌گرفت و فقط شرایط جوی یکنواخت و ملایم و انتشار صوت به صورت مستقیم در نظر گرفته می‌شد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد به مجرد آنکه فاصله گیرنده و منبع صدا بیش از صد متر شود، تأثیر شرایط آب و هوایی بر نحوه انتشار صوت اهمیت می‌یابد و هر چه این فاصله افزایش یابد تأثیر آن بیشتر می‌شود. همچنین هر چه گیرنده و منبع صوت به زمین نزدیکتر باشند، تأثیر آب و هوایی افزایش می‌یابد. اندازه گیریهای انجام شده در این خصوص نشان دهنده آن است که در فاصله سیصد متری منبع صوت، میزان سرو صدا به علت تأثیر شرایط آب و هوایی می‌تواند بیش از ۲۰ dB(A) تغییر کند. این پدیده ناشی از تغییر سرعت صوت در فضای انتشار آن است. در شرایط جوی یکنواخت که سرعت صوت در سراسر فضا یکسان است، امواج صوتی به صورت خط مستقیم حرکت می‌کنند. در حقیقت بعضی از عوامل جوی مانند باد، آفتاب و پوشش ابر نیز متناسب با ارتفاع نقاط نسبت به سطح زمین سبب تغییر سرعت صوت می‌شوند. این وضعیت به وقوع پدیده انکسار منجر می‌شود که در این صورت مسیر حرکت امواج صوتی به سمت بالا یا پایین می‌شکند. در نتیجه، میزان میرایی امواج صوتی به علت انتشار آن در نزدیکی سطح زمین (که تحت عنوان تأثیر زمین شناخته می‌شود) با میزان میرایی در شرایط انتشار مستقیم



شکل شماره ۱ - مسیر صدا با شیب حرارتی منفی (شرایط نامساعد انتشار صوت)



شکل شماره ۲ - مسیر صدا با شیب حرارتی مثبت (شرایط مساعد انتشار صوت)

قسمت از جاده که جهت باد و جهت انتشار صوت یکسان است، مسیر حرکت امواج صوتی به سمت پایین تغییر مسیر می‌دهد (شرایط مطلوب انتشار صوت). در آن بخش از جاده که جهت باد و جهت انتشار صوت، مخالف یکدیگرند، حرکت امواج صوتی به سمت بالا تغییر مسیر می‌دهد (شرایط نامطلوب انتشار صوت) (شکل ۳).

با توجه به توضیحات فوق، مشخص است که عامل درجه حرارت، در تمامی جهات انتشار صوت اثر یکسانی دارد که این مسئله، در مورد باد مصداق ندارد. در نتیجه، در مورد منابع آلودگی صوتی جاده‌ای، اثر درجه حرارت بر میزان سرو صدا، اغلب بیش از اثر باد است و این دقتاً بر خلاف آن چیزی است که عاقله مردم فکر می‌کنند.

۳ - تأثیر همزمان باد و درجه حرارت

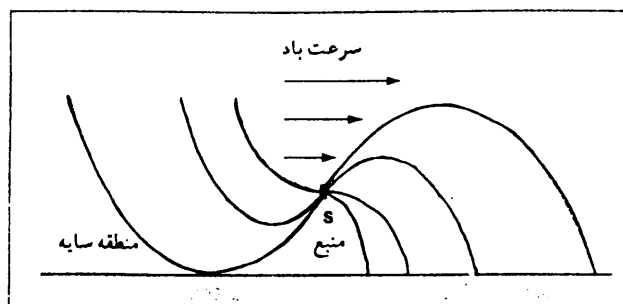
در حقیقت، تأثیر عوامل درجه حرارت و باد با یکدیگر ترکیب و تلفیق می‌شوند و برآیند تأثیر آنها، موجب افزایش و یا کاهش آلودگی صوتی می‌شود. بندرت می‌توان شرایطی را یافت که در آن، امواج در شرایط جوی یکنواخت منتشر شود. همانطور که قبلاً شرح داده شد، تأثیر میزان آلودگی صوتی در شرایط مطلوب و نامطلوب انتشار امواج، یکسان نیست. هنگامی که امواج صوتی در شرایط مطلوب منتشر می‌شوند،

در هنگام شب اگر آسمان صاف باشد، زمین گرمای خود را پس می‌دهد و زودتر از هوا سرد می‌شود و در نتیجه، لایه‌های پایینی جو از لایه‌های بالایی آن سریعتر سرد می‌شوند. در واقع، با افزایش ارتفاع از سطح زمین، دما افزایش می‌یابد و در نتیجه، حرکت امواج صوتی به سمت پائین تغییر مسیر می‌دهد (شکل ۲). در چنین شرایطی، میزان سرو صدا در اطراف جاده نسبت به حالت انتشار مستقیم افزایش می‌یابد. شرایط آب و هوایی مذکور را شرایط مطلوب برای انتشار صوت می‌نامند.

هنگام غروب و شب، که از نظر میزان آزاردهندگی سرو صدا برای افراد ساکن در مجاورت جاده‌ها از حساسترین ساعات محسوب می‌شود، عامل درجه حرارت، آلودگی صوتی را افزایش می‌دهد. در شرایط هوای ابری، آثار فوق الذکر پدید نمی‌آید و مسیر حرکت امواج صوتی، مستقیم است.

۲ - اثر باد

به هنگام وزش باد، سرعت باد و سرعت انتشار صوت، به صورت برداری، جمع می‌شوند. اگر جهت وزش باد در جهت انتشار صوت باشد، سرعت صوت افزایش می‌یابد و اگر در خلاف جهت آن باشد سرعت صوت، کاهش می‌یابد. البته به خاطر ناهمواری سطح زمین، سرعت باد در سطح زمین صفر است و با افزایش ارتفاع، سرعت آن زیادتر می‌شود. در نتیجه، در آن



شکل شماره ۳ - پروفیل مسیر صدا در شرایط وجود باد

ب) با در نظر گرفتن مواردی که در این مقاله ذکر شد، یک شیوه عملی و ساده برای اندازه گیری سطوح سرو صدا در شرایط نامساعد وجود نداشت، بنابراین شیوه جدیدی در سه قسمت ابداع شد: قسمت اول، که بر اساس استاندارد ۲ - ISO ۹۶۱۳، میزان میانگین آلودگی صوتی را در شرایط مساعد انتشار صوت محاسبه می کند (به عنوان L_F). این استاندارد، با در نظر گرفتن اثر پدیده های انتشار صوت و توپوگرافی، طراحی شده است. قسمت دوم، که بر اساس نمونه های نظری، میزان آلودگی صوتی در بلندمدت و با تأثیر دادن تمامی شرایط آب و هوایی منطقه را محاسبه می کند (به عنوان L_{LT}).

در این روش، برای محاسبه میزان سر و صدا از وسیله اندازه گیری استفاده می شود. این وسیله، میزان صدای مربوط به شرایط یکنواخت، که عموماً بیش از میزان سر و صدای موجود در شرایط نامساعد است را اندازه گیری می کند. این امر باعث می شود که مقادیر تخمین سر و صدا، بیشتر از مقادیر واقعی باشد (شکل ۵). تخمین بیش از مقدار واقعی، قابل ملاحظه نخواهد بود زیرا در روابط لگاریتمی برای جمع کردن میزان آلودگی، تغییرات کوچک، در نتیجه محاسبات، اثر چندانی ندارد.

پس از انجام مراحل فوق، میزان آلودگی صوتی در بلندمدت (L_{LT}) محاسبه می شود. در این مرحله از یک گیرنده استفاده می شود. این گیرنده در درصدی از دوره زمانی (P) در معرض آلودگی صوتی در شرایط مساعد (L_F) و درصد زمانی باقیمانده ($P - 1$) در معرض آلودگی صوتی در شرایط یکنواخت (L_H) قرار می گیرد (P به درصد وقوع شرایط مساعد در منطقه مربوط می شود). میزان آلودگی صوتی بلندمدت واقعی به دست آمده از

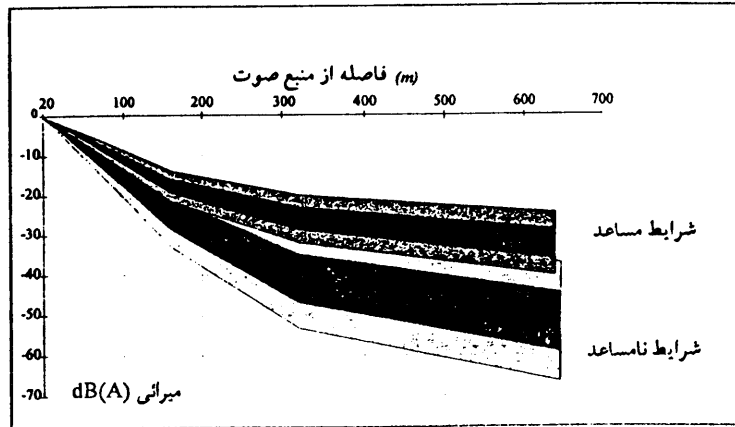
گستره سر و صدای منتشره بسیار کمتر از حالت انتشار امواج صوتی در شرایط نامطلوب است. این موضوع در شکل شماره ۴ نشان داده شده است که در آن، چگونگی میرایی صوت بر اساس شرایط انتشار، از یک منبع تولید صوت نسبت به یک نقطه مرجع واقع در فاصله ۲۰ متری آن، مشاهده می شود. باید یاد آور شد که در عمل، آثار باد و درجه حرارت به نسبت زمان و مکان، متغیر است و تعیین دقیق آنها تقریباً غیر ممکن است و فقط، تخمین آنها، بر حسب مقادیر میانگین، امکان پذیر است. با توجه به عوامل جوی که شرح داده شد، در فرایند محاسبه آلودگی صوتی، تأثیر عوامل مذکور باید دقیقاً اعمال شوند.

۴ - شیوه جدید محاسبه میزان آلودگی صوتی

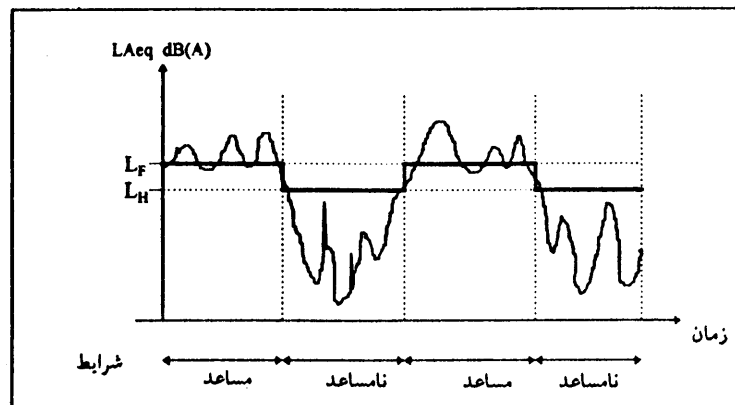
همانطور که گفته شد، بر اساس ضوابط جدید، در تمامی محاسبات مربوط به تعیین میزان آلودگی صوتی جاده ها، می باید شرایط آب و هوایی واقعی منطقه (در بلند مدت) مورد ملاحظه قرار گیرد. این میزان آلودگی مربوط به شرایط جوی یکنواخت باید، کمتر باشد. بنابراین در این محاسبات، علاوه بر میزان آلودگی بلندمدت، میزان آلودگی مربوط به شرایط یکنواخت، تحت عنوان سطح حداقل نیز مورد ملاحظه قرار می گیرد.

مبنای طراحی شیوه جدید بر اساس دو واقعیت زیر است:

الف) شیوه استاندارد که بر اساس استاندارد ۲ - ISO ۹۶۱۳ برای ارزیابی و محاسبه سطح میانگین آلودگی به کار می رفت، بیشتر در شرایط مساعد کاربرد داشت، حال آنکه چنین شیوه ای، برای اندازه گیری های مربوط به شرایط ویژه (آلودگی صوتی جاده ها) چندان مناسب نبود.



شکل شماره ۴ - مقایسه میزان صدا در شرایط مساعد و نامساعد



شکل شماره ۵ - مقایسه مقادیر واقعی صدا با مقادیر تخمین زده شده با روش جدید.

۴۰ ایستگاه هواشناسی در فرانسه، در دو دوره زمانی روزانه (از ۶ صبح تا ۱۰ شب) و شبانه (از ۱۰ شب تا ۶ صبح) محاسبه شده است. نتایج حاصل را می‌توان به صورتهای زیر نشان داد:

● برای یک جهت انتشار مفروض، با استفاده از یک نقشه، مقادیر آلودگی صوتی، از تعیین میانگین اعداد مربوط به هر یک از ایستگاهها محاسبه می‌شود. (شکل ۶)

● در یک ایستگاه هواشناسی خاص، به وسیله یک نمونه خاص به عنوان منحنی تراز سر و صدا شبیه آنچه در فرودگاهها به عنوان گلباد مطرح است، میزان آلودگی صوتی محاسبه می‌شود (شکل ۷).

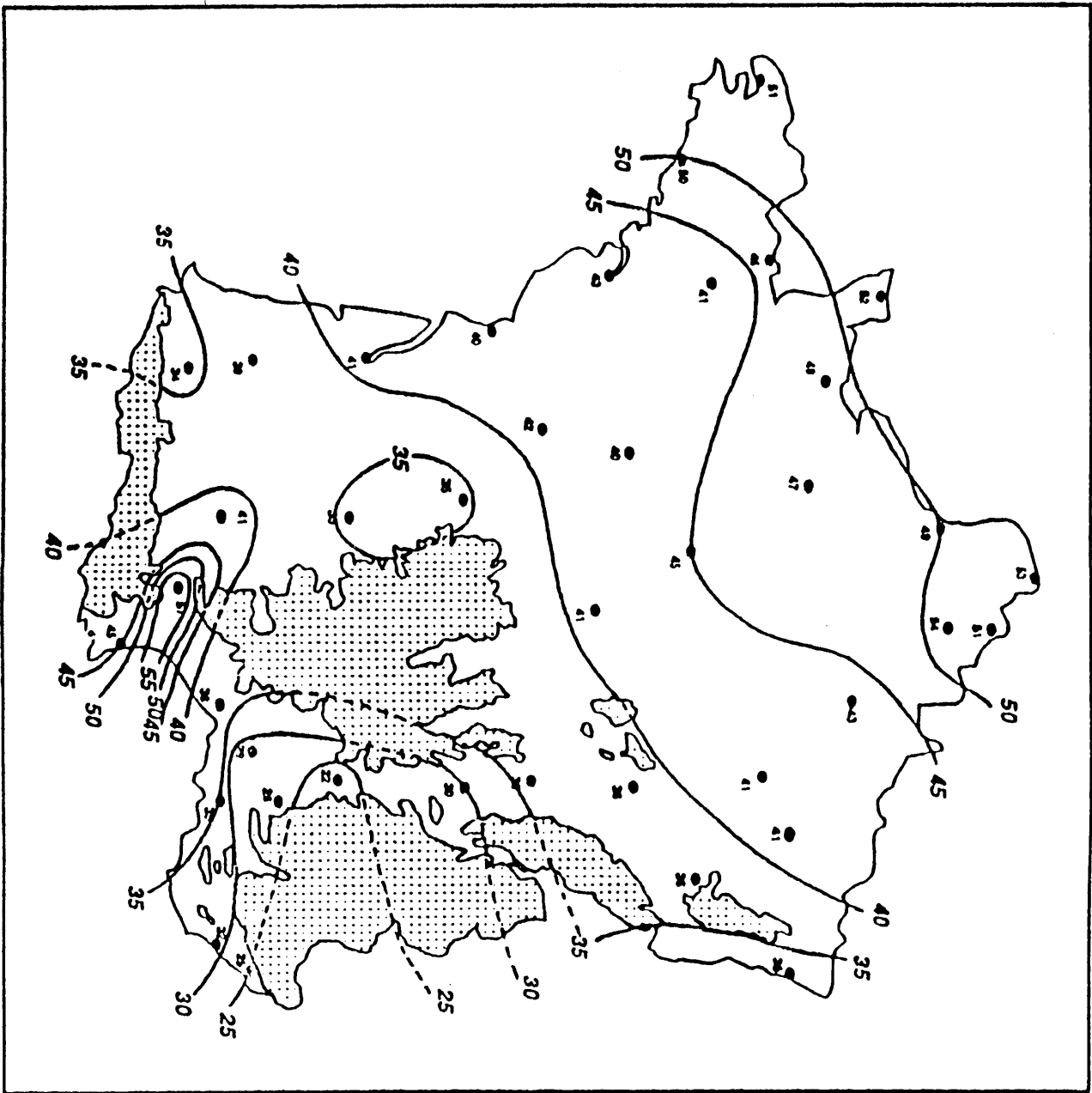
از این مقادیر، فقط در فضاهای مسطح باز و دور از مناطق کوهستانی می‌توان استفاده کرد. در مناطقی که توپوگرافی

این روش بیش از مقادیر مربوط به میزان آلودگی صوتی در شرایط یکنواخت است.

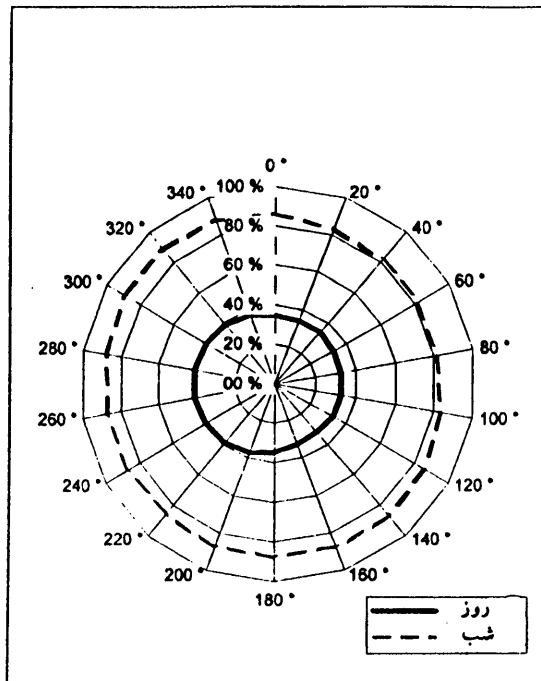
مقدار P، نه تنها به محل مورد مطالعه، بلکه به جهت گیرنده صوت نسبت به منبع نیز بستگی دارد (جهت باد). شکی نیست که برای انجام یک محاسبه دقیق، باید شیوه‌ای اتخاذ شود که در آن، مقادیر سر و صدا در شرایط مساعد و در تمامی جهات، برای منطقه و سرزمین مورد مطالعه مدنظر قرار گیرد. نمونه‌های عملی مختلفی از کاربرد این روش دربرآورد آلودگی صوتی وجود دارند که در ادامه مقاله به یکی از آنها اشاره می‌شود.

۵ - مطالعه موردی

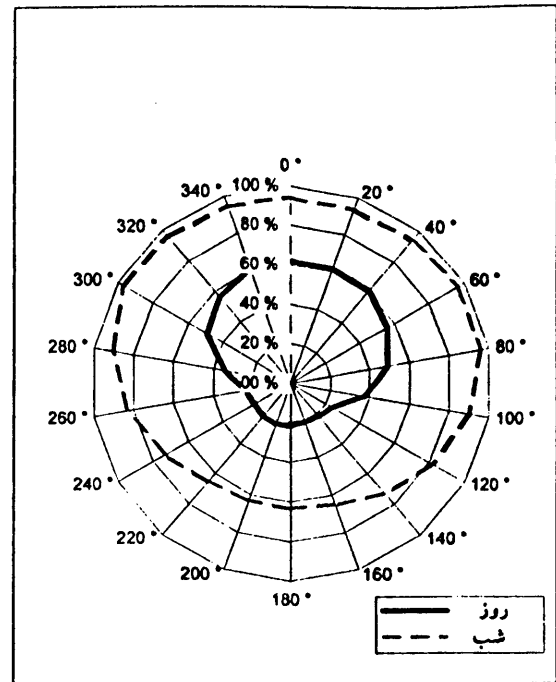
مقادیر آلودگی صوتی بر اساس اندازه‌گیریهای انجام شده در



شکل شماره ۶ - نقشه رُخداد صدا در شرایط مساعد در هنگام روز



۱۰۷ ایستگاه تور در یک منطقه مسطح



۲۰۷ ایستگاه مونه لیمار در یک دره با باد شدید

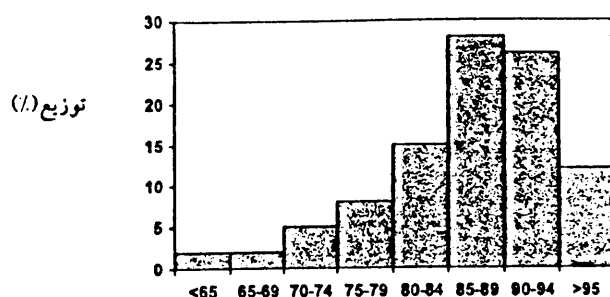
شکل شماره ۷ - مقایسه نمودار رُخداد در شرایط مساعد (درجات نمایانگر جهت منبع صدا با توجه به جهت شمال است)

قوانین لگاریتمی جمع میزان آلودگی صوتی، به یک میزان بلندمدت (L_{LT}) منجر می‌شود که با میزان آلودگی صوتی در شرایط مساعد (L_F) تفاوت چندانی ندارد. حال آنکه هنگام روز، میزان آلودگی صوتی بلندمدت (L_{LT}) بیشتر در حد فاصل میانی (L_H و L_F) ۵ دسی بل است. جدول شماره ۱ اثر درصد وقوع شرایط مساعد را بر میزان آلودگی صوتی بلند مدت (L_{LT}) با اختلاف ۵dB(A) بین L_F و L_H نشان می‌دهد. مقایسه نمونه‌های مربوط به ایستگاه تورمونه لیمار در فرانسه (اشکال ۸ و ۹) بوضوح، تأثیر باد را نشان می‌دهد. نمونه ایستگاه تور، بسیار منظم است و مشخص می‌کند که در این منطقه، میزان باد، کمتر است. نمونه ایستگاه مونه لیمار، بوضوح، وجود بادهای شمالی را در این منطقه نشان می‌دهد که سبب شده میزان سر و صدا در قسمت شمالی، بیشتر از حد متوسط و در قسمت جنوبی، کمتر از حد متوسط باشد.

پیچیده‌ای دارد و این نوع توپوگرافی، پدیده‌های آب و هوایی خاصی را ایجاد می‌کند، این مقادیر را باید بر اساس اطلاعات آب و هوایی منطقه‌ای بدست آورد.

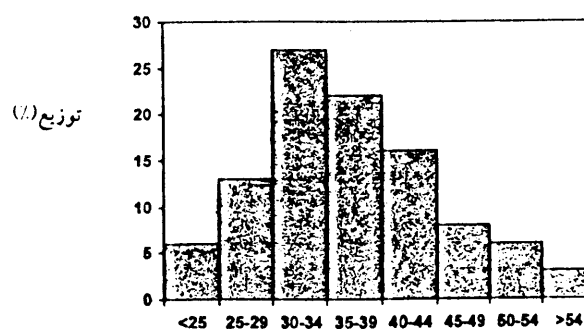
با تجزیه و تحلیل مقادیر و خطوط میزان، می‌توان تصورات دقیقتری از اطلاعات حاصل از ملاحظه شرایط آب و هوایی به‌دست آورد. با احتساب میزان آلودگی صوتی در تمامی ایستگاههای هواشناسی و در تمامی جهات در طول روز، درصد زمانی شرایط مساعد یک توزیع نرمال بین ۲۰٪ و ۶۰٪ (با مقدار میانگین ۳۵٪) تخمین زده می‌شود (شکل ۸). به هنگام شب نیز، این توزیع، نرمال است و مقدار آن بین ۶۰٪ و ۹۹٪ (با مقدار میانگین ۸۵٪) است.

مشخص است که در مورد رویدادهای مساعد، سر و صدا به هنگام شب بیشتر از هنگام روز است. می‌توان حدس زد که این تفاوت، بخاطر عوامل حرارتی است. بنابراین در شب هنگام،



رُخداد (درصد زمان)

شکل شماره ۹ - توزیع مقادیر رُخداد در هنگام شب



رُخداد (درصد زمان)

شکل شماره ۸ - توزیع مقادیر رُخداد مساعد در هنگام روز

۶ - ارزیابی روش جدید

اندازه گیری‌هایی برای محاسبه میزان آلودگی صوتی در شش مکان مختلف صورت پذیرفت. هر یک از این اندازه گیری‌ها حداقل یک هفته به طول انجامید. حاصل این کار به دست آوردن ۳۴ نقطه اندازه گیری در فواصل ۳۰۰ تا ۵۵۰ متری کنار جاده بود. مختصات جوی (سرعت و جهت باد، درجه حرارت در ارتفاعات مختلف و غیره) به طور همزمان ثبت شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا به کمک آن بتوان شرایط انتشار صوت را در هر زمانی، بررسی کرد. نهایتاً میزان آلودگی صوتی در بلندمدت با در نظر گرفتن شرایط مساعد به کمک شیوه جدید محاسبه شد.

شکل شماره ۱۰ مقدار اختلاف بین میزان آلودگی بلندمدت اندازه گیری شده و تخمینی را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن عدم قطعیتی که معمولاً در پیش‌بینی آلودگی صوتی جاده‌ای وجود دارد، چنین اختلافاتی قابل قبول است.

۷ - بحث در مورد نحوه تأثیر شرایط آب و هوایی

با یک رشته محاسبات ساده و ذکر یک مثال می‌توان دید بهتری در مورد نحوه تأثیر شرایط آب و هوایی به دست آورد. به عنوان مثال دو نوع جاده را بشرح زیر در نظر می‌گیریم.

- الف - یک جاده روستایی معمولی (با متوسط ترافیک ۸۰۰۰ وسیله نقلیه در روز که ۱۵٪ آن کامیون و سرعت وسایل نقلیه سبک و سنگین بترتیب ۹۰ و ۸۰ کیلومتر در ساعت است).
- ب - یک جاده روستایی عریض‌تر (با متوسط ترافیک ۲۰/۰۰۰ وسیله نقلیه در روز که ۲۰٪ آن کامیون و سرعت وسایل نقلیه سبک و سنگین بترتیب ۱۳۰ و ۱۰۰ کیلومتر در ساعت است).

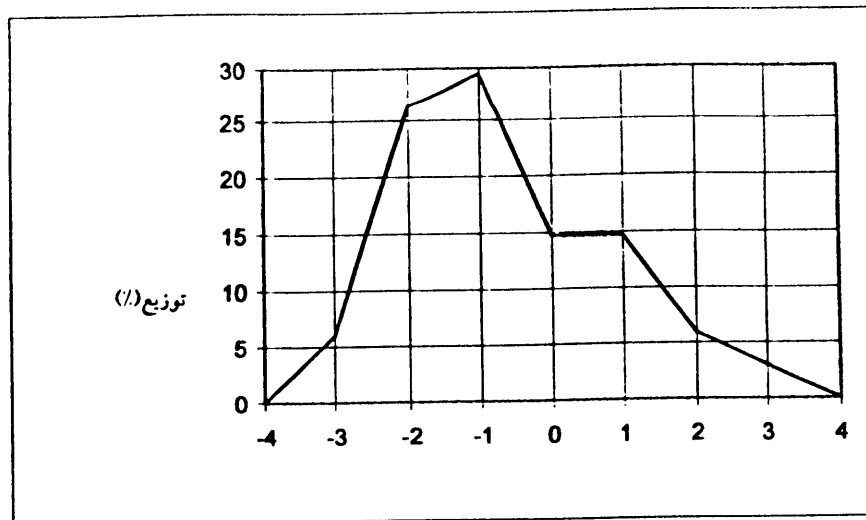
در زمین مسطح و در زمانی که گیرنده در ارتفاع ۵ متری بالای دیوار یک ساختمان قرار دارد ۴۷ میزان آلودگی صوتی در فاصله ۳۰۰ متری از جاده در جدول شماره ۲ را ملاحظه می‌کنید. در این جدول، فواصل مربوط به دو سطح استانه صوتی حداکثر و حداقل = dB(A) ۶۰ در طول روز و dB(A) ۵۵ در هنگام شب نیز منظور شده است.

جدول شماره ۱: اثر درصد وقوع شرایط مساعد روی میزان سر و صدای بلندمدت

شرایط مساعد (L_F)	شرایط یکنواخت (L_H)	زمان	میانگین وقوع	میزان آلودگی صوتی بلندمدت L_{LT}
60dB(A)	55dB(A)	روز	۳۵ درصد	۵۷/۴۱dB(A)
		شب	۸۵ درصد	۵۹/۵dB(A)

جدول شماره ۲ - میزان سر و صدا در اطراف دو نوع جاده در فواصل زمانی متفاوت

نوع جاده	فاصله	هنگام روز	هنگام شب
الف	۳۰۰ متر	۵۲	۴۷dB(A)
	۹۰۰ متر	۶۰	۵۳dB(A)
ب	۳۰۰ متر	۵۹	۵۷dB(A)
	۴۵۰ متر	۵۶	۵۵dB(A)



شکل شماره ۱۰ - اختلاف بین محاسبات و اندازه‌گیریها (میانگین: 0.6dB(A) - انحراف معیار: 1.5dB(A))

محاسبه آلودگی صوتی جاده‌ای هر چه بیشتر احساس می‌شود. در این راستا، باید یک کارگروهی منسجم و کامل و با هماهنگی بخشهای تخصصی ذیربط صورت پذیرد. با به کارگیری این شیوه، نه تنها نحوه نگرش ما نسبت به آلودگی صوتی تغییر می‌یابد بلکه اصلاحات و نوآوریهای در زمینه برخی کارهای عملی و آزمایشگاهی (از جمله نحوه اندازه گیری آلودگی صوتی) پدید آمده است. کاربرد روش توضیح داده شده در این مقاله در حال حاضر برای ارزیابی آثار آلودگی صوتی شبکه ملی جاده‌های کشور فرانسه اجباری است.

مراجع:

1. Bernard, F. and Soulage, D. 1997. New French Method for Prediction of Road Noise That Integrates Weather Conditions PLARC. World Road Association, No. 294.

با توجه به مثال مذکور، در جاده‌های معمولی که بار ترافیکی کم یا متوسط دارند، آلودگی صوتی تأثیر بیشتر را در فواصل نزدیک جاده خواهد داشت. در چنین شرایطی، لزومی ندارد که شرایط آب و هوایی را در محاسبات دخالت دهیم. بعلاوه، در این حالت، میزان آلودگی صوتی در طول روز (در مقایسه با میزان آلودگی صوتی در طول شب) به مقدار آستانه نزدیکتر است. در نتیجه، میزان آلودگی صوتی در طول روز ملاک تصمیم‌گیری است.

در مورد جاده‌های روستایی با بار ترافیکی بالا، بیشترین تأثیر آلودگی صوتی در فواصل دور از محور جاده (۴۵۰ متر) رخ می‌دهد. در این حالت باید شرایط آب و هوایی را مورد ملاحظه قرار داد. زیرا مقدار آلودگی صوتی در طول شب از اهمیت و حساسیت بیشتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری:

با توجه به مطالب فوق، لزوم به کارگیری شیوه جدید برای