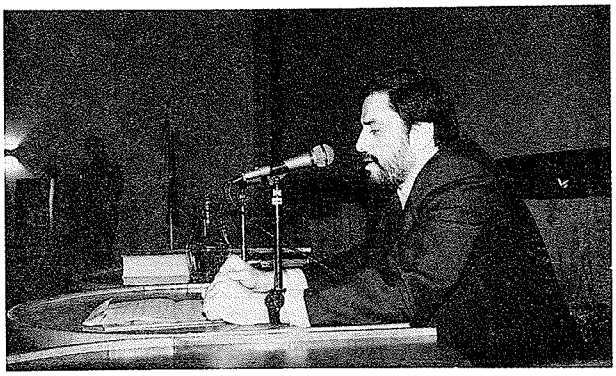


آلودگی صدای ناشی از راه‌آهن شهری تهران و حومه (مترو)

مجید عباس‌پور

دانشیار دانشگاه صنعتی شریف

فائزه میرحیدری

عضو انجمن متخصصین محیط زیست ایران

چکیده

یکی از متداولترین و مهمترین منابع آلودگی صدا در محیط زیست شهری صدای ناشی از وسایط نقلیه نظیر ترافیک شهری، فرودگاه و سیستم راه‌آهن شهری (مترو) است. تردد وسایط نقلیه در خیابانها و بزرگراه‌ها اثرات روانی نامطلوبی بر مردمی می‌گذارد که در اطراف این نواحی زندگی و کار می‌کنند. رشد و توسعه واحدهای صنعتی و مراکز تجاری خود عامل دیگریست که انسان را در معرض صداهای ناخواسته قرار می‌دهد.

با توجه به رشد فزاینده جمعیت و افزایش ترددها در شهر بزرگی چون تهران نیاز به تأسیس و بهره‌برداری از راه‌آهن شهری بیش از پیش احساس می‌شود ولی قبل از بکارگیری این سیستم حمل ونقل لازم است توجهی خاص به آلودگی زیست محیطی ناشی از آن بویژه انتشار صدای ناشی از بهره‌برداری این سیستم مبذول داشت با وجودی که ظرفیت جابه‌جایی مسافر در دو خط مترو روزانه بالغ بر دومیلیون نفر برآورد شده‌است ولی نباید از نظر دور داشت که نظیر هر شاخه‌ای از تکنولوژی عواقبی نیز به‌همراه خواهد داشت.

صدای ایجادشده از راه‌آهن شهری که ناشی از بکارگیری ماشینهای مختلف برقی، لکوموتیوها، حرکت چرخها روی ریل، سیگنال‌های خطر، تجهیزات تعمیر و نگهداری و بالاخره تجهیزات ساختمانی می‌باشد، خود عامل دیگریست که صدا را در زندگی شهرنشینی خواه‌ناخواه افزایش می‌دهد.

در این مطالعه سروصدای ناشی از حرکت قطارها در میسر متروی تهران - کرج - مهرشهر پیش‌بینی‌شده و اثرات آن بر نواحی اطراف مسیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌است.

عمده‌ترین منابع صدا در واگنهای برقی نیروی محرکه شامل موتور، جعبه دنده و سیستم خنک‌کننده موتور و نیز حرکت چرخها روی ریل می‌باشد. منبع مهم دیگر صدا بخصوص درمورد قطارهای در حال توقف، سیستم تهویه هوای فشرده یا سیستم تهویه مطبوع آنهاست. صدای آیرودینامیکی حاصل از حرکت قطار در سرعتهای بالا خود عامل مهم صدای ناهنجار محسوب می‌شود. صدای ناشی از حرکت چرخها روی ریل شکل هندسی واگنها، شعاع انحنای ریل و ترمزها هریک سهم بسزایی در ایجاد صدا دارند.

مقدمه:

آندره فالانژ فرانسوی اولین مبتکر ایجاد سیستم حمل ونقل زیرزمینی در جهان است. سیستم حمل ونقل مترو پس از ابتکار فالانژ در جهان توسعه و تکامل یافته است.

بعد از فالانژ در سال ۱۸۲۴ میلادی یک فرانسوی به‌نام لوبا ساخت مترو را احیا نمود. لوبا به آمریکا مهاجرت و امتیاز ایجاد

متـروی نیویـورک را از دولت وقت آمریکـا گـرفت. قدیمی‌ترین متروی جهان در لندن در سال ۱۸۶۳ میلادی یعنی حدود ۱۳۳ سال پیش بـه‌مـرحلـه راه‌انـدازی رسید. حدود ۳۰ سال به‌طول انجامید تا کشورهای دیگر اروپایی به تجارب مشابهی دست یافتند و متروهای وین و بـوداپست درسـال ۱۸۹۶ آمـاده بهـره‌بـرداری شدند. متروی بـرلین در سـال ۱۹۰۲، متـروی فیـلادلفیـا در سـال ۱۹۱۲ و متـروی بوینس‌آیـرس در سـال ۱۹۱۳ آمـاده کار شدند. وقوع جنگ جهانی اول در سـالهـای ۱۹۱۴ تا ۱۹۱۸، برنامه‌های توسعه و عمران شهرهای بـزرگ را در اروپـا متـوقف نمـود. پس از پایـان جنگ در جهان چهار مترو بزرگ ساخته شد که شامل آتن درسال ۱۹۲۵، توکیو در سـال ۱۹۲۷، اوزاکـا در سـال ۱۹۳۳ و متـروی مسکو در سال ۱۹۳۵ بود.

در سـال ۱۳۳۷ (۱۹۸۵ میـلادی) شخصی به‌نام مهندس کورس طـرح احداث متروی تهران را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. یـازده سـال بعـد، از یک گروه متخصص ژاپنی جهت بررسی وضع حمل ونقل شهر تهران دعوت به‌عمل آمد و این گروه پس از بـررسی‌هـای لازم ایجـاد شبکـه راه‌آهن سریع (مترو) به‌طور تقریبی ۱۱۲ کیلـومتـر را برای تهران ضروری دانست. در سال ۱۳۴۹ (۱۹۷۰ میـلادی) پس از اعـلام منـاقصـه، شرکت فرانسوی سوفرتو برنده و مطالعـات مقدماتی را آغاز نمود. اجرای طرح تا سال ۱۳۵۴ به‌تعویق افتـاد و سـرانجـام در همان سال شرکت سوفرتو با امضاء قراردادی کـارهـای اجرایی را آغاز نمود. بااین‌حال شرکت مزبور تا پیروزی انقلاب اسلامی کار چندانی انجام نداد.

سـرانجـام پس از فـراز و نشیب و توقف‌هایی که در این پروژه حـاصل گردیـد در سال ۱۳۶۵ با تأیید مسئولین امر این طرح مجدداً آغـاز بکار نموده و هم‌اکنون مراحل اجرایی خود را طی می‌نماید. در حـال حاضر اجرای دو خط در دست اقدام است. خط یک در جهت شمال به جنوب و خط دو در جهت شرق به غرب می‌باشد.

بررسی خط تهران - کرج مهرشهر مترو

مسیـر تهـران-کـرج طبق برنامه‌های در دست اقدام اولین مسیر مترو خواهد بود که به معنای واقعی عملیاتی مورد بهره‌برداری قرار خواهدگرفت. از این‌رو بررسی آلودگی احتمالی صدا در طول این میسـر از اهمیت خـاصی بـرخـوردار است. مسیـر این خط بـالغ بر ۳۹ کیلـومتـر روی زمین و ۲/۵ کیلـومتـر زیـر زمین خواهد بود و بدین‌ترتیب طول کل مسیر بالغ بر ۴۱/۵ کیلومتر می‌باشد.

تعـداد کل ایستگـاههـای این مسیر ۱۰ عدد است که کلاً برروی زمین استقـرار یافته‌انـد. فاصله متوسط دو ایستگاه ۴ کیلومتر و طول هر ایستگاه ۳۰۰ متر و عرض آن ۳۲ متر می‌باشد.

برای بررسی صدا می‌توان مناطق ذیل را درنظر گرفت:

۱- منطقـه مسکـونی ۲- منطقـه مسکونی - تجـاری ۳- منطقـه تجاری ۴- منطقه مسکونی - صنعتی ۵- منطقه صنعتی.

از آنجـایی کـه بیشتـر مسیـر متـرو در این خط بـه مـوازات اتوبـان تهـران - کـرج بوده و از مناطق متعددی عبور می‌نماید، لذا ضروریست چگونگی وضعیت صدا در این مسیر مورد ارزیابی قرار گیرد.

خط مـذکـور جمعاً دارای ۱۰ ایستگـاه می‌باشد که در جدول ۱ ارائـه شـده‌است. در این جـدول نـام ایستگـاه و نـوع منطقـه‌ای که ایستگاه درآن قرارگرفته، درج شده‌است.

جدول ۱: اسامی ایستگاه‌های مسیر تهران - کرج - مهرشهر

نام ایستگاه	نوع منطقه
۱- ایستگاه آزادی	مسکونی تجاری
۲- ایستگاه اکباتان	مسکونی صنعتی
۳- ایستگاه استادیوم آزادی	مسکونی
۴- ایستگاه پارک جنگلی	فضای سبز
۵- ایستگاه ایران خودرو	مسکونی - فضای سبز
۶- ایستگاه وردآورد	مسکونی - صنعتی
۷- ایستگاه گرمدره	صنعتی
۸- ایستگاه اتمسفر	صنعتی
۹- ایستگاه کرج	صنعتی - فضای سبز
۱۰- ایستگاه مهرشهر	مسکونی

ایـن جدول نـشان می‌دهد کـه مسیرمـورد نظر از مناطق متـعدد مسکونی و صنعتی عبور می‌نماید. عمده‌ترین مناطقی که از نظر صدا می‌تواند موجب بروز ناراحتی برای ساکنین اطراف آن شود به‌شرح ذیل است:

۱- مناطق مسکونی در محل آپارتمانهای سازمان آب که در بین اتوبـان تهـران - کـرج و خطـوط مترو قرارگرفته‌اند. این منطقه در غـرب بـزرگـراه محمـدعلی جناح قرار دارد. حداقل فاصله مناطق مسکونی در این منطقه از ۷۰ الی ۲۰۰ متر می‌باشد.

۲- منـاطق مسکونی در اطـراف خیابـان شهیـدحسین باقـری تا کارگـاه ساختمانی شهرک اکباتان. در این مسیر خط مترو به اتوبان تهـران - کـرج نـزدیک‌شـده و فاصلـه مناطق مسکونی بعضاً در این منطقه از ۵۰ متر نیز کمتر است.

۳- بخشی از مناطق جنوبی شهرک پرواز و کوی سازمان برنامه نیـز در فاصله کمتر از ۵۰ متر در مسیر مترو قرارمی‌گیرند (در ناحیه نزدیک بلوار آسیا).

۴- مسیـر متـرو از نـاحیـه بلـوار آسیـا تا جاده ورودی شماره ۱

استادیوم آزادی باتوجه به آنکه در منطقه جنوبی عمدتاً بخش صنعتی و در بخش شمالی پارک عمومی قرارگرفته نمی‌تواند مشکلات زیادی از لحاظ صدای ناهنجار ایجاد نماید.

۵- بررسی مسیر مترو در طی طریق از جنوب استادیوم ورزشی آزادی و پارک جنگلی خرگوش‌دره نشان می‌دهد که در بخش شمالی مشکل صدای ناهنجار وجود نخواهد داشت. لکن در بخش جنوبی، شهرک‌هایی نظیر شهرک فرهنگیان، مجتمع مسکونی نصر، مرکز آموزشی درمانی شهیدنواب صفوی، و شهرک انصار قرارگرفته‌اند. کلیه این مناطق در جنوب اتوبان تهران - کرج قراردارند و لذا فاصله آنها از خط مترو حداقل ۸۰ متر می‌باشد. باید توجه نمود که برخی از این مناطق در فاصله کمتر از ۳۰ متری اتوبان قرار دارند.

۶- مراکز صنعتی، آموزشی و تحقیقاتی متعددی نیز در مسیر متروی تهران - کرج قرار گرفته است که برخی از آنها عبارتند از: مرکز تحقیقات و آموزش وابسته به وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، مرکز تحقیقات کشاورزی وابسته به تربیت مدرس و کارخانجات جوراب آسیا.

۷- مناطق مسکونی متعدد دیگری نظیر مجتمع مسکونی کارکنان میز پارس، یا شهرک پیکان شهر و ... در فواصل نزدیک به خطوط مترو قرار دارند که بعضاً به حدود ۷۰ متر می‌رسد.

روش کار:

برای انجام این منظور یک مدل ریاضی طراحی شده و اطلاعات مربوط به مسیرهای متروی تهران در این برنامه قرار داده شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این برنامه به زبان QBasic نوشته شده و قادر است با اخذ ورودی‌ها در شرایط مختلف سناریوهای گوناگونی را ارزیابی نماید. در انتها با توجه به پاسخ‌های بدست‌آمده و با بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری HPG نمودارهای لازم ترسیم گردیده است.

تحلیل ریاضی:

صدای حاصل از حرکت قطار به پارامترهای ذیل بستگی دارد:

۱- نوع قطار از نظر طول

۲- نوع قطار از نظر دیسک ترمز و جنس آن

۳- سرعت قطار (km/hr)

۴- نوع مسیر (ریلهای پیچ شده، جوش شده، و ...)

درقسمت صدا فرمول‌های زیادی برای موارد مختلف وجود دارد که سعی شده به‌خاطر سرعت کار و حتی‌الامکان سادگی برنامه از فرمول‌های کاربردی‌تر استفاده شود. جهت تعیین ماکزیمم تراز صدا از رابطه ذیل استفاده می‌شود.

$$Lmax_1 = K\log_{10} V + C \qquad dB(A) \qquad (1)$$

$Lmax_1$: حداکثر تراز صدا dB(A)

V: سرعت قطار (km/hr)

C و K: ضرایب ثابت

ضرایب C و K ثابت بوده و به‌عنوان ورودی برای جواب گرفتن بایستی به کامپیوتر داده شوند. K می‌تواند در محدوده (۲۰ الی ۴۰) تغییر نماید.

$Lmax_1$ برای قطارها در حالت کلی می‌باشد. $Lmax_2$ حداکثر تراز صدا برای قطار با ترمز فلزی به‌صورت رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$Lmax_2 = 30\log_{10} V + 28 \qquad dB(A) \qquad (2)$$

حداکثر تراز صدا برای قطار با ترمز دیسکی با رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$Lmax_2 = 40\ \log_{10} V - 4 \qquad dB(A) \qquad (3)$$

برای زمین چمنزار کاهش صدا از رابطه ذیل پیروی می‌کند:

$$Lmax = Lmax_{d_0} - K\log_{10}\frac{d}{d_0} \qquad dB(A) \qquad (4)$$

K: ضریب ثابت (برای قطارهای بلند برابر ۱۲ و برای قطارهای کوتاه برابر ۱۷ می‌باشد و مقدار متوسط آن برابر ۱۵ می‌باشد)

d: فاصله از محل عبور قطار

d_0: فاصله مرجع ($d_0 = \frac{۲۵}{L}$)

کاهش صدا توسط زمین و هوا به‌صورت ذیل می‌باشد:

$$Lmax = Lmax_{d_0} - 20\log_{10}\frac{d}{d_0} \qquad dB(A) \qquad (5)$$

در برنامه پارامتر متغیر d بین ۲۵ تا ۴۰۰ متر تغییر داده شده است.

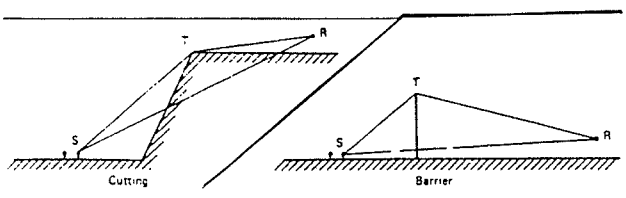
کاهش صدا توسط موانع جذب کننده یا خاکریزها که در برنامه با DELTA ۱ و DELTA ۲ معرفی شده‌اند. روابط مربوط به آنها به‌شرح ذیل می‌باشد:

$$\Delta_{(موانع)} = 9/4\ \log_{10}(2+50\delta) \qquad dB(A) \qquad (6)$$

Δ: میزان کاهش صدا در اثر موانع:

δ: اختلاف مسیر (m)

با توجه به شکل ۱ اختلاف مسیر به‌صورت ذیل تعریف می‌گردد:



شکل ۱: چگونگی تعریف اختلاف مسیر

S : منبع مولد صدای قطار

R : دریافت کننده صدا

$\delta = ST + TR - SR : \delta$

با توجه به این رابطه معمولاً چنانچه ارتفاع خاکریز اطراف ریل حدود ۳ متر باشد میزان کاهش صدا معادل dB(A) ۵ خواهد بود. اگر ۷ متر باشد dB(A) ۱۰ و بالاخره برای ۱۵ متر معادل dB(A) ۱۵ خواهد بود.

برای $\delta > ۰/۱$

$DELTA_۱ = ۱۹/۱ + ۸/۱ \, Log_{۱۰} \, \delta$ dB(A) (۷)

کاهش صدا توسط سطح انعکاس بین ریل و مانع جذب‌کننده صدا به‌شرح ذیل می‌باشد:

$DELTA_۲ = ۷/۴ - ۳/۷ \, Log_{۱۰} \, D$ dB(A) (۸)

D : فاصله نزدیکترین ریل و مانع ($D = \frac{d}{I}$ و d ، فاصله از قطار)

$DELTA_{ba}$ نشان‌دهنده کل کاهش صدا است:

$DELTA_{ba} = DELTA_۱ - DELTA_۲$ dB(A) (۹)

در قسمتهای بعدی برنامه از پارامتر L_{AX} به‌شرح ذیل استفاده شده‌است.

$L_{AX} = L_{max} + ۱۰ \log_{۱۰} (۳/۶ \frac{I}{V} + ۶ \frac{d}{۱۰۰})$ dB(A) (۱۰)

L : طول قطار (m)

V : سرعت قطار (km/hr)

d : فاصله از مسیر (m)

مرحله اول: طول قطار بین ۱۰ تا ۱۵ متر تغییر داده‌شده و افزایش صدا بررسی شده در این قسمت V و d به‌عنوان ورودی به برنامه داده‌می‌شود.

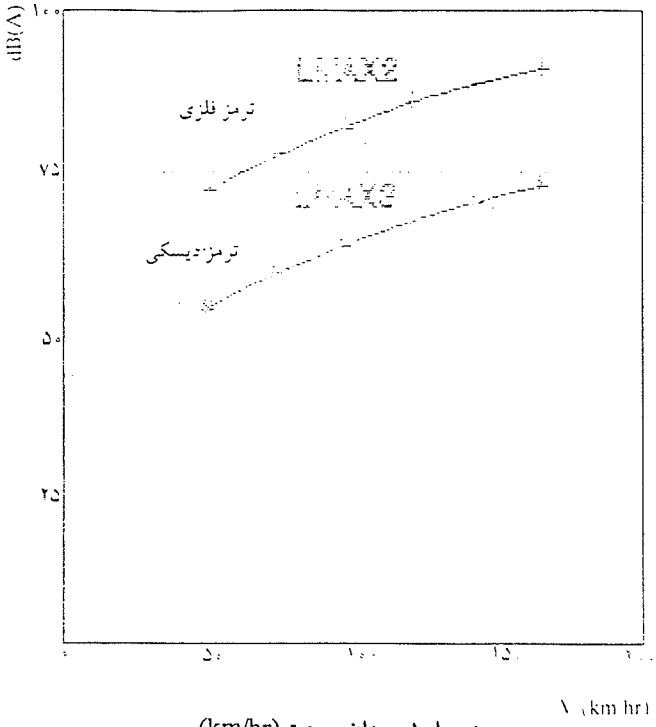
مرحله دوم: فاصله از قطار d متغیر در نظر گرفته شده و V و L به‌عنوان ورودی به برنامه داده‌می‌شود. رابطه فوق با L و d نسبت مستقیم و با V رابطه معکوس دارد. در هر سه مورد فوق Leq برای عبور یک قطار در هر ساعت از رابطه ذیل پیروی می‌نماید.

$Leq = LAX - ۳۵/۶$ dB(A) (۱۱)

بر مبنای یک ترن در هر ساعت $۱۰ \log_{۱۰} (۳۶۰۰) = ۳۵/۶$

حداکثرسرعت حرکت قطارهایی که برای خطوط متروی تهران درنظر گرفته شده بین ۸۰ الی ۱۳۰ کیلومتر در ساعت است. با عنایت به نمودار ۱ می‌توان نتیجه گرفت که صدای تولیدی dB(A) ۸۰ - ۱۲۵ می‌باشد.

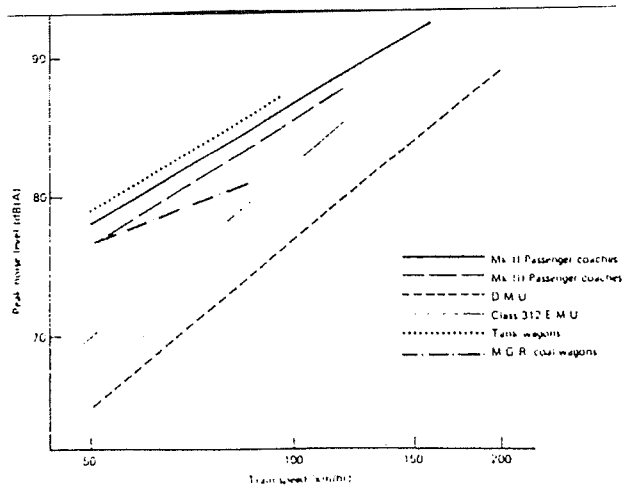
چنانچه قطار مترو با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت با ترمز فلزی حرکت نماید و ترمز کند ($K = ۲۵$ ، $C = ۲۵$) مقدار صدای تولیدی برابر dB(A) ۶۷ می‌باشد. چنانچه همین قطار با ترمز دیسکی حرکت کند مقدار صدای تولیدشده به dB(A) ۴۷ کاهش می‌یابد.



نمودار ۱- میزان سرعت (km/hr)

نمودار ۲ نشان‌دهنده ارتباط بین سرعت قطار و حداکثر صدای تولید شده در فاصله ۲۵ متری از قطار برای انواع قطارها می‌باشد.

بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود که می‌توان انتظار داشت در فاصله ۲۵ متری بدون وجود مانع میزان صدای دریافتی بین ۷۰ تا حدود dB(A) ۹۰ نوسان نماید و این برای تغییرات سرعت بین ۵۰ تا



نمودار ۲- تغییرات افزایش صدا با افزایش سرعت قطار

حدود ۱۳۰ کیلومتر در ساعت می‌باشد.

بدین‌ترتیب از آنجایی که حداکثر سرعت حرکت قطارها بین ۸۰ تا ۱۳۰ کیلومتر در ساعت است لذا حداکثر میزان صدا حدود ۹۰ dB(A) در فاصله ۲۵ متری خواهدبود.

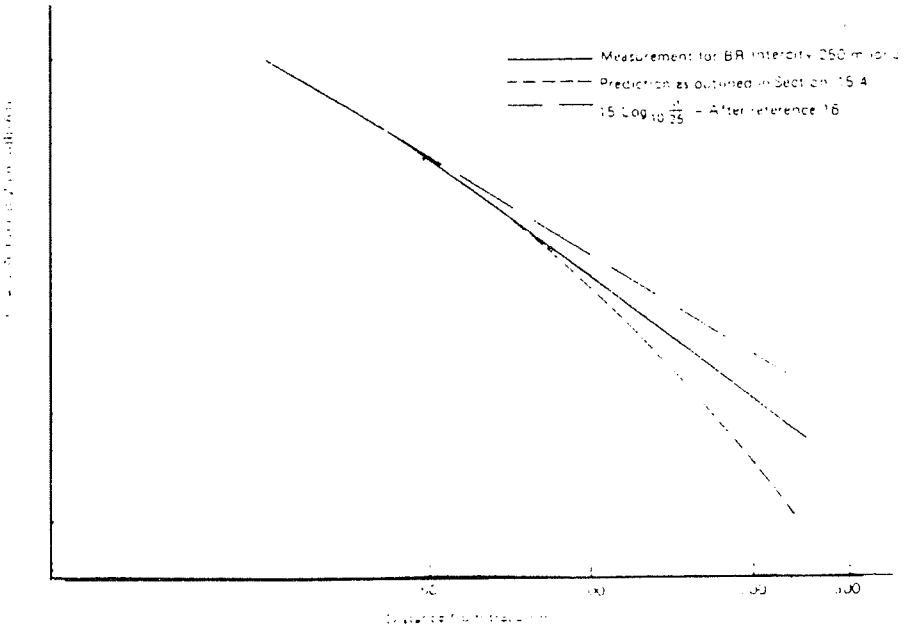
از طرفی با عنایت به روابط اشاره‌شده مقدار کاهش صدا با فاصله، پس از فاصله ۲۵ متری اولیه طبق نمودار ۳ خواهدبود. این نمودار نشان می‌دهد که هرچه فاصله افزایش می‌یابد طبیعتاً میزان کاهش صدا نیز افزایش خواهدیافت. از آنجایی که مناطق مسکونی یا تجاری در مسیر تهران - کرج در اغلب مکانها از ۵۰ الی ۱۰۰ متر به بالا می‌باشد، لذا از نمودار می‌توان دریافت که حداکثر کاهش صدا بین ۵ الی ۱۰ dB(A) می‌باشد و لذا می‌توان انتظار داشت که در چنین شرایطی مردم در بخشی از مسیر حرکت در معرض حداکثر صدایی به شدت ۸۰ الی ۸۵ dB(A) و در شرایط سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت بالغ بر ۷۰ dB(A) قرار می‌گیرند.

منفی بر خواب انسان به ویژه بر حاشیه‌نشینان خط مترو باقی خواهد گذاشت. بنابراین توصیه می‌شود سرعت حرکت قطارها در هنگام شب در بخشهایی که به مناطق مسکونی نزدیک است، از حداکثر ۶۰ کیلومتر در ساعت تجاوز ننماید. در هنگام روز می‌توان این سرعت را افزایش داد.

نتیجه آن که به‌منظور کنترل صدای ناهنجار ناشی از حرکت قطارهای مترو در مسیر باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که سرعت حرکت قطار در بخشی از نقاط به ۶۰ کیلومتر در ساعت تقلیل یابد و در برخی مناطق تا ۱۳۰ کیلومتر در ساعت نیز برسد.

به‌منظور حصول اطمینان از آنکه آیا سروصدای ناشی از فعالیتهای فرودگاهی فرودگاه مهرآباد در مناطق مجاور خط مترو اثر خواهد گذاشت یا خیر از نتایج مطالعات انجام‌شده در این رابطه بهره گرفته‌شد.

منحنی‌های NEF ترسیم شده در اطراف فرودگاه نشان می‌دهد



نمودار ۳- منحنی کاهش صدا با افزایش فاصله

مقایسه این صدا با استانداردهای‌تعیین‌شده برای کشورهای اروپایی ازجمله دانمارک، هلند و انگلستان و نیز کشور ایران بیش‌از حد استانداردهای‌تعیین شده می‌باشد.بدین ترتیب بدون شک راه‌اندازی مترو در بخشهایی از مسیر ایجاد مزاحمت صوتی برای مردم حاشیه‌نشین خواهد نمود.

در صورتی که سرعت حرکت قطارها به ۵۰ کیلومتر در ساعت تقلیل یابد مشکل خاصی وجود نخواهد داشت و در سرعتهای ۸۰ کیلومتر در ساعت نیز با احداث موانع می‌توان تا ۱۵ dB(A) از شدت این صدا کاست.

مطالعات آماری نشان می‌دهد افزایش سرعت اثرات گسترده در محدوده اطراف مسیر مترو شدت صوت دریافتی کمتر از ۲۰ dB(A) بوده و عملاً اثری بر مردمی که در این ناحیه زندگی می‌کنند نخواهد داشت.

منابع

۱) م، عباس‌پور، مطالعات و بررسیهای زیست محیطی در زمینه صدا جهت استفاده در متروی تهران، ۱۳۶۸، (جلد ۱ و ۲).

۲- گزارش عملکرد مترو دفتر ریاست جمهوری ۱۳۶۸

۳- م، عباس‌پور، بررسی اثرات صدا و ارتعاشات ناشی از متروی تهران در ساختمان‌های اطراف مسیر، ۱۳۷۲

۴- شرکت راه‌آهن شهری تهران و حومه، نقشه چهار خط متروی تهران و خط سریع‌السیر تهران - کرج - مهرشهر از انتشارات شرکت متروی تهران، ۱۳۷۵.

۹- پ، نصیری، م، عباس‌پور، م، محمودی، ج، هادی‌نیا، "بررسی آلودگی صوتی ناشی از فرودگاه مهرآباد در مناطق مجاور آن"، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، ۱۳۷۵.

5) B. Sharp And P. R. Donavan, "Motor Vehicle Noise" chapter. 32., Handbook of Noise Control, Znded., Mc Grawhill. 1979

6) Handbook of Noise control Edition by cyril Mr. Harris Mc Grawhill, 1979 U.S.A.

7) R.L. Leonard, G, kurzweil, "Rail Transportation Noise", Znded. Mc Grawhill, 1979.

8) Nelson, P.M. "Prediction of Train Noise" 1987 PP. 3-13 "Transportation Noise Reference Book".