

## چکیده

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



با توجه به رشد فزاینده جمعیت و افزایش تردها در شهر بزرگی چون تهران نیاز به تأسیس و بهره برداری از راه آهن شهری بیش از پیش احساس می شود ولی قبل از بکارگیری این سیستم حمل و نقل لازم است توجهی خاص به آلودگی زیست محیطی ناشی از آن بویژه انتشار صدای ناشی از بهره برداری این سیستم مبذول داشت با وجودی که ظرفیت جابه جایی مسافر در دو خط مترو روزانه بالغ بر دو میلیون نفر برآورد شده است ولی نباید از نظر دور داشت که نظیر هر شاخه ای از تکنولوژی عواقبی نیز به همراه خواهد داشت.

# آلودگی صدای ناشی از راه آهن شهری تهران و حومه (مترو)

صدای ایجاد شده از راه آهن شهری که ناشی از بکارگیری ماشینهای مختلف برقی، لکوموتیوها، حرکت چرخها روی ریل، سیگنال های خطر، تجهیزات تعمیر و نگهداری و بالاخره تجهیزات ساختمانی می باشد، خود عامل دیگریست که صدا را در زندگی شهرنشینی خواه ناخواه افزایش می دهد.

در این مطالعه سروصدای ناشی از حرکت قطارها در مسیر متروی تهران - کرج - مهرشهر پیش بینی شده و اثرات آن بر نواحی اطراف مسیر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

عمده ترین منابع صدا در واگنهای برقی نیروی محرکه شامل موتور، جعبه دنده و سیستم خنک کننده موتور و نیز حرکت چرخها روی ریل می باشد. منبع مهم دیگر صدا بخصوص در مورد 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 می شود. صدای ناشی از حرکت چرخها روی ریل شکل هندسی واگنها، شعاع انحنای ریل و ترمزها هر یک سهم بسزایی در ایجاد صدا دارند.

## مقدمه:

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

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

مجید عباس پور

دانشیار دانشگاه صنعتی شریف

فائزه میرحیدری

عضوانجمن متخصصین محیط زیست

ایران

متروی نیویورک را از دولت وقت آمریکا گرفت. قدیمی ترین متروی جهان در لندن در سال ۱۸۶۳ میلادی یعنی حدود ۱۳۳ سال پیش به مرحله راه اندازی رسید. حدود ۳۰ سال به طول انجامید تا کشورهای دیگر اروپایی به تجارب مشابهی دست یافتند و متروهای وین و بوداپست در سال ۱۸۹۶ آماده بهره برداری شدند. متروی برلین در سال ۱۹۰۲، متروی فیلادلفیا در سال ۱۹۱۲ و متروی بوئنس آیرس در سال ۱۹۱۳ آماده کار شدند. وقوع جنگ جهانی اول در سالهای ۱۹۱۴ تا ۱۹۱۸، برنامه های توسعه و عمران شهرهای بزرگ را در اروپا متوقف نمود. پس از پایان جنگ در جهان چهار مترو بزرگ ساخته شد که شامل آتن در سال ۱۹۲۵، توکیو در سال ۱۹۲۷، اوزاکا در سال ۱۹۳۳ و متروی مسکو در سال ۱۹۳۵ بود.

در سال ۱۳۳۷ (۱۹۸۵ میلادی) شخصی به نام مهندس کورس طرح احداث متروی تهران را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. یازده سال بعد، از یک گروه متخصص ژاپنی جهت بررسی وضع حمل و نقل شهر تهران دعوت به عمل آمد و این گروه پس از بررسی های لازم ایجاد شبکه راه آهن سریع (مترو) به طور تقریبی ۱۱۲ کیلومتر را برای تهران ضروری دانست. در سال ۱۳۴۹ (۱۹۷۰ میلادی) پس از اعلام مناقصه، شرکت فرانسوی سوفرتو برنده و مطالعات مقدماتی را آغاز نمود. اجرای طرح تا سال ۱۳۵۴ به تعویق افتاد و سرانجام در همان سال شرکت سوفرتو با امضاء قراردادی کارهای اجرایی را آغاز نمود. باین حال شرکت مزبور تا پیروزی انقلاب اسلامی کار چندانی انجام نداد.

سرانجام پس از فراز و نشیب و توقف هایی که در این پروژه حاصل گردید در سال ۱۳۶۵ با تأیید مسئولین امر این طرح مجدداً آغاز بکار نموده و هم اکنون مراحل اجرایی خود را طی می نماید. در حال حاضر اجرای دو خط در دست اقدام است. خط یک در جهت شمال به جنوب و خط دو در جهت شرق به غرب می باشد.

### بررسی خط تهران - کرج مهر شهر مترو

مسیر تهران-کرج طبق برنامه های در دست اقدام اولین مسیر مترو خواهد بود که به معنای واقعی عملیاتی مورد بهره برداری قرار خواهد گرفت. از این رو بررسی آلودگی احتمالی صدا در طول این مسیر از اهمیت خاصی برخوردار است. مسیر این خط بالغ بر ۳۹ کیلومتر روی زمین و ۲/۵ کیلومتر زیر زمین خواهد بود و بدین ترتیب طول کل مسیر بالغ بر ۴۱/۵ کیلومتر می باشد.

تعداد کل ایستگاه های این مسیر ۱۰ عدد است که کلاً بر روی زمین استقرار یافته اند. فاصله متوسط دو ایستگاه ۴ کیلومتر و طول هر ایستگاه ۳۰۰ متر و عرض آن ۳۲ متر می باشد.

برای بررسی صدا می توان مناطق ذیل را در نظر گرفت:

- ۱- منطقه مسکونی ۲- منطقه مسکونی - تجاری ۳- منطقه تجاری ۴- منطقه مسکونی - صنعتی ۵- منطقه صنعتی.

از آنجایی که بیشتر مسیر مترو در این خط به موازات اتوبان تهران - کرج بوده و از مناطق متعددی عبور می نماید، لذا ضروریست چگونگی وضعیت صدا در این مسیر مورد ارزیابی قرار گیرد.

خط مذکور جمعاً دارای ۱۰ ایستگاه می باشد که در جدول ۱ ارائه شده است. در این جدول نام ایستگاه و نوع منطقه ای که ایستگاه در آن قرار گرفته، درج شده است.

جدول ۱: اسامی ایستگاه های مسیر تهران - کرج - مهر شهر

نام ایستگاه	نوع منطقه
۱- ایستگاه آزادی	مسکونی تجاری
۲- ایستگاه اکباتان	مسکونی صنعتی
۳- ایستگاه استادبوم 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

این جدول نشان می دهد که مسیر مورد نظر از مناطق متعدد مسکونی و صنعتی عبور می نماید. عمده ترین مناطقی که از نظر صدا می تواند موجب بروز ناراحتی برای ساکنین اطراف آن شود به شرح ذیل است:

۱- مناطق مسکونی در محل آپارتمانهای سازمان آب که در بین اتوبان تهران - کرج و خطوط مترو قرار گرفته اند. این منطقه در غرب بزرگراه محمدعلی جناح قرار دارد. حداقل فاصله مناطق مسکونی در این منطقه از ۷۰ الی ۲۰۰ متر می باشد.

۲- مناطق مسکونی در اطراف خیابان شهیدحسین باقری تا کارگاه ساختمانی شهرک اکباتان. در این مسیر خط مترو به اتوبان تهران - کرج نزدیک شده و فاصله مناطق مسکونی بعضاً در این منطقه از ۵۰ متر نیز کمتر است.

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

۴- مسیر مترو از ناحیه بلوار آسیا تا جاده ورودی شماره ۱

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

۵- بررسی مسیر مترو در طی طریق از جنوب استادیوم ورزشی آزادی و پارک جنگلی خرگوش دره 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 قرار گرفته‌اند. کلیه این مناطق در جنوب اتوبان تهران - کرج قرار دارند 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: مراکز 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 میزپارس، 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 بدست آمده 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 ...)

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

$$L_{max_1} = K \log_{10} V + C \quad \text{dB(A)} \quad (1)$$

$$L_{max_1} \text{ dB(A): حداکثر تراز صدا}$$

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.

$L_{max_1}$  برای قطارها در حالت کلی می‌باشد.  $L_{max_2}$  حداکثر تراز صدا برای قطار با ترمز فلزی به‌صورت رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$L_{max_2} = 30 \log_{10} V + 28 \quad \text{dB(A)} \quad (2)$$

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

$$L_{max_2} = 40 \log_{10} V - 4 \quad \text{dB(A)} \quad (3)$$

برای زمین چمنزار کاهش صدا از رابطه ذیل پیروی می‌کند:

$$L_{max} = L_{max_2} - K \log_{10} \frac{d}{d_0} \quad \text{dB(A)} \quad (4)$$

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 ( $d_0 = \frac{25}{L}$ )

کاهش صدا توسط زمین و هوا به‌صورت ذیل می‌باشد:

$$L_{max} = L_{max_2} - 20 \log_{10} \frac{d}{d_0} \quad \text{dB(A)} \quad (5)$$

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

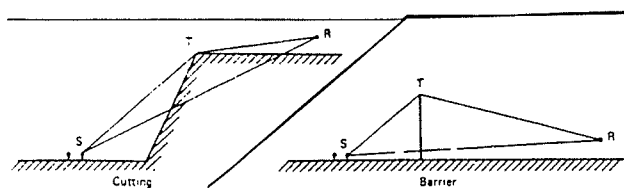
کاهش صدا توسط موانع جذب‌کننده یا خاکریزها که در برنامه با DELTA ۲ و DELTA معرف شده‌اند. روابط مربوط به آنها به‌شرح ذیل می‌باشد:

$$\Delta = 9/4 \log_{10} (2 + 50 \delta) \quad \text{dB(A)} \quad (6)$$

$\Delta$ : میزان کاهش صدا در اثر موانع:

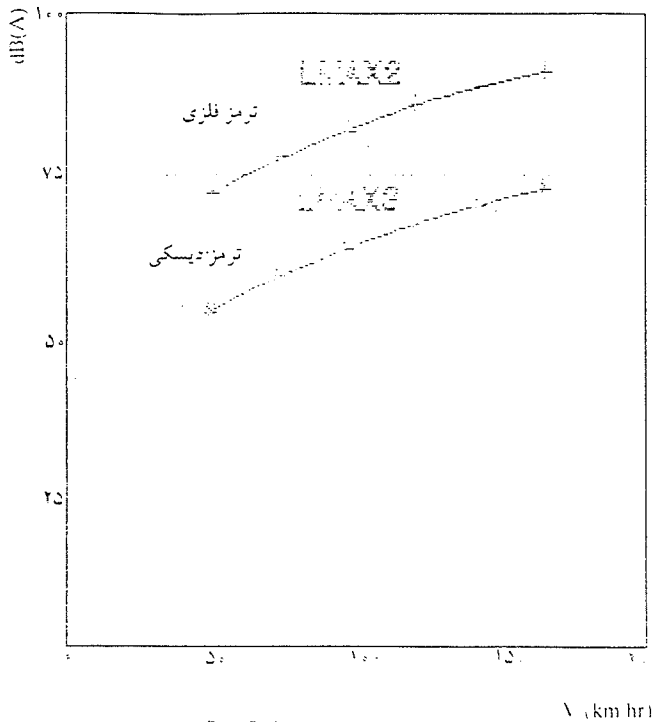
$\delta$ : اختلاف مسیر (m)

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



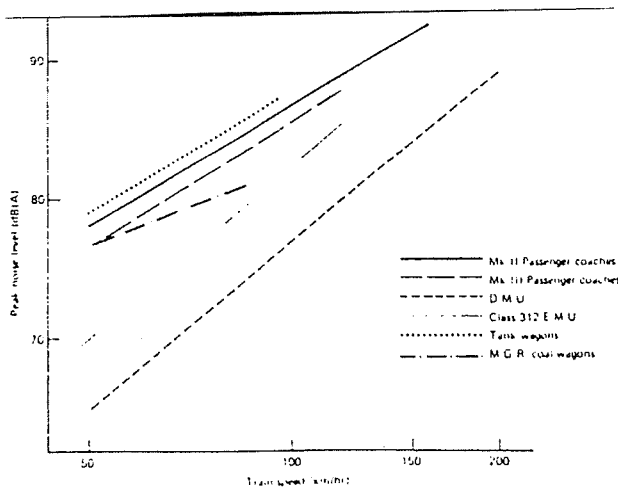
شکل ۱: چگونگی تعریف اختلاف مسیر

دیسکی حرکت کند مقدار صدای تولید شده به ۴۷ dB(A) کاهش می‌یابد.



نمودار ۱- میزان سرعت (km/hr)

نمودار ۲ نشان دهنده ارتباط بین سرعت قطار و حداکثر صدای تولید شده در فاصله ۲۵ متری از قطار برای انواع قطارها می‌باشد. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که می‌توان انتظار داشت در فاصله ۲۵ متری بدون وجود مانع میزان صدای دریافتی بین ۷۰ تا حدود ۹۰ dB(A) نوسان نماید و این برای تغییرات سرعت بین ۵۰ تا



نمودار ۲- تغییرات افزایش صدا با افزایش سرعت قطار

S : منبع مولد صدای قطار

R : دریافت کننده صدا

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

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

$$\delta > 0.1$$

$$\Delta_{\delta} = 19.1 + 8.1 \log_{10} \delta \quad \text{dB(A)} \quad (7)$$

کاهش صدا توسط سطح انعکاس بین ریل و مانع جذب کننده صدا به شرح ذیل می‌باشد:

$$\Delta_{\delta} = 7.4 - 3.7 \log_{10} D \quad \text{dB(A)} \quad (8)$$

D : فاصله نزدیکترین ریل و مانع ( $D = \frac{d}{I}$  و d ، فاصله از قطار)  $\Delta_{\delta}$  نشان دهنده کل کاهش صدا است:

$$\Delta_{\delta} = \Delta_{\delta} - \Delta_{\delta} \quad \text{dB(A)} \quad (9)$$

در قسمتهای بعدی برنامه از پارامتر  $L_{AX}$  به شرح ذیل استفاده شده است.

$$L_{AX} = L_{\max} + 10 \log_{10} \left( \frac{3}{6} \frac{I}{V} + 6 \frac{d}{V} \right) \quad \text{dB(A)} \quad (10)$$

L : طول قطار (m)

V : سرعت قطار (km/hr)

d : فاصله از مسیر (m)

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

مرحله دوم: فاصله از قطار d متغیر در نظر گرفته شده و V و L به عنوان ورودی به برنامه داده می‌شود. رابطه فوق با  $\bar{L}$  و  $\bar{d}$  نسبت مستقیم و با V رابطه معکوس دارد. در هر سه مورد فوق  $L_{eq}$  برای عبور یک قطار در هر ساعت از رابطه ذیل پیروی می‌نماید.

$$L_{eq} = L_{AX} - 35/6 \quad \text{dB(A)} \quad (11)$$

بر مبنای یک ترن در هر ساعت  $10 \log_{10} (3600) = 35/6$

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

چنانچه قطار مترو با سرعت ۵۰ کیلومتر در ساعت با ترمز فلزی حرکت نماید و ترمز کند ( $C = 25$ ،  $K = 25$ ) مقدار صدای تولیدی برابر ۶۷ dB(A) می‌باشد. چنانچه همین قطار با ترمز

حدود ۱۳۰ کیلومتر در ساعت می باشد.

بدین ترتیب 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 خواهد بود.

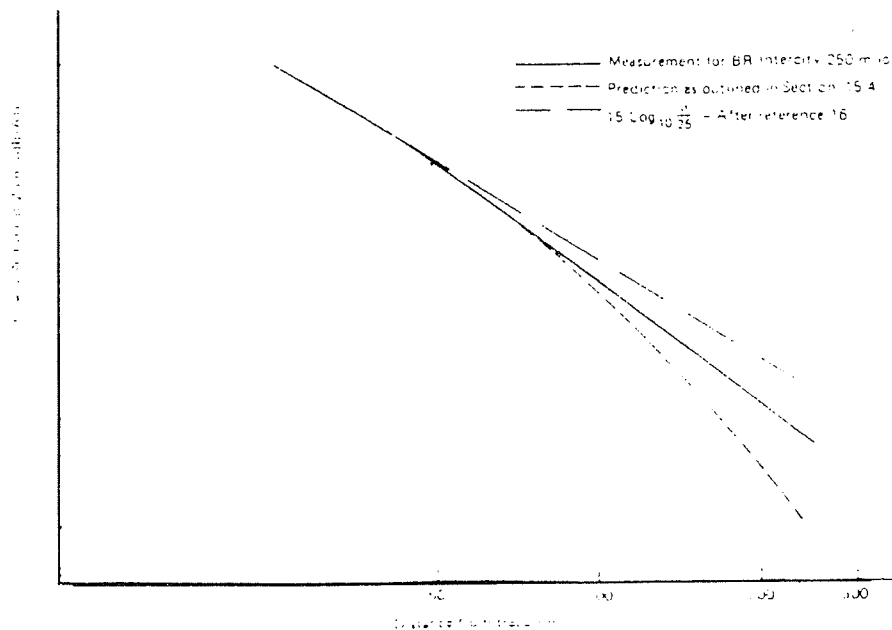
از طرفی با عنایت به روابط اشاره شده مقدار کاهش صدا با فاصله، پس از فاصله ۲۵ متری اولیه طبق نمودار ۳ خواهد بود. این نمودار نشان می دهد که هرچه فاصله افزایش می یابد طبیعتاً میزان کاهش صدا نیز افزایش خواهد یافت. از آنجایی که مناطق مسکونی یا تجاری در مسیر تهران - کرج در اغلب مکانها از ۵۰ الی ۱۰۰ متر به بالا می باشد، لذا از نمودار می توان دریافت که حداکثر کاهش صدا بین ۵ الی ۱۰ dB(A) می باشد و لذا می توان 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 می گیرند.

منفی بر خواب انسان به ویژه بر حاشیه نشینان خط مترو باقی خواهد گذاشت. بنابراین توصیه می شود 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 می توان این سرعت را افزایش داد.

نتیجه آن که به منظور کنترل صدای ناهنجار ناشی از حرکت قطارهای مترو در مسیر باید به گونه ای برنامه ریزی 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.

به منظور 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 انجام شده در این رابطه بهره گرفته شد.

منحنی های NEF ترسیم شده در اطراف فرودگاه نشان می دهد



نمودار ۳- منحنی کاهش صدا با افزایش فاصله

در محدوده اطراف مسیر مترو شدت صوت دریافتی کمتر از ۲۰ dB(A) بوده و عملاً اثری بر مردمی که در این ناحیه زندگی می کنند نخواهد داشت.

مقایسه این صدا با استانداردهای تعیین شده برای کشورهای اروپایی از جمله دانمارک، هلند و انگلستان و نیز کشور ایران بیش از حد استانداردهای تعیین شده می باشد. بدین ترتیب بدون شک راه اندازی مترو در بخشهایی از مسیر ایجاد مزاحمت صوتی برای مردم حاشیه نشین خواهد نمود.

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

مطالعات آماری نشان می دهد افزایش سرعت اثرات گسترده

## منابع

- ۱) م، عباس پور، 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، عباس پور، بررسی اثرات صدا و ارتعاشات ناشی از متروی تهران در ساختمان‌های اطراف مسیر، ۱۳۷۲
- ۴- شرکت راه آهن 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، عباس پور، 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. Donovan, "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) Neison, P.M. "Frediction of Train Noise" 1987 PP. 3-13 "'Transportation Noise Reference Book".