به نام یکتای هستی آفرین

گذری بر صداشناسی بالگرد

محسن بهرامی*

mohsen.bahrami.۲۰۰۶@gmail.com

چکیده

این مقاله قصد دارد به گونه ای مختصر، اطلاعاتی کلی پیرامون انواع صداهای بوجود آمده در پرواز بالگرد را در اختیار خواننده قرار دهد. در آغاز برای درک بهتر ضرورت مطرح شدن این بحث به دو نمونه از اصلی ترین عوامل طرح شده می پردازیم. عامل اول مربوط به ایجاد مزاحمت اجتماعی، آلودگی صوتی در مناطق شهری وخطرات زیست محیطی و عامل دوم به کاربرد های خاص بالگردهای بی صدا در صنایع نظامی بر می گردد. در هر حال همراه با رشد روز افزون این پرنده های مکانیکی در کاربری های نظامی ، حمل‌ونقل و امدادونجات مراکز پژوهشی متعددی به سازوکارهای تولید صدای بالگرد و راهکارهای کاهش آن پرداخته اند. در این نوشته قصد داریم مختصری از اصول صداشناسی بالگرد و سازوکارهای تولید این صداها و روشهای کاهش آنها را بررسی کنیم.

کلیدواژه ها: اکوستیک ، برخورد تیغه و گردابه ، سرعت صوت ، ملخ بالگرد، صدای ضربه‌ای

۱. سخن نخست

درگذشته مشاهده بالگرد ها در آسمان موقعیتی جذاب و نادر بود اما امروزه با گسترش کاربرد بالگردها دیدن این پرنده ها در آسمان به یک موضوع عادی تبدیل شده است. اصولا بالگرد های اولیه بر اساس ایده های بیشینه کنترل، مانور پذیری و عملکرد پروازی طراحی می شدند و در فرایند طراحی، صداشناسی از نگرانی های آغازین نبود. با گذشت زمان و بهبود این مشخصه ها کم کم طراحان دریافتند که بالگرد های طراحی شده دارای سطح بالایی از آلودگی صوتی هستند. همچنین جمعیت های مقابله با آلودگی صوتی، دوستداران محیط زیست و نیروهای نظامی از اداره هوانوردی فدرال امریکا خواستند تا در گواهی نامه های خود سطح صدای تولیدی از پرنده های مکانیکی را نیز بررسی کند و سطح مجازی برای این نوع آلودگی در نظر بگیرد[۲]. در نتیجه مراکز پژوهشی گوناگونی برای بررسی و درک بهتر منابع تولید صدا در بالگرد شروع به فعالیت نمودند. نتایج این فعالیت ها امروزه در فرایند طراحی برای کم کردن صدای بالگرد در نظر گرفته می شود.

۲. منابع صدا در بالگرد

منابع صدا در بالگرد نسبت به سایر پرنده های مکانیکی متنوع تر است. اهمیت هر یک از این صداها در بالگردهای مختلف با توجه به ماموریت و طراحی آنها متفاوت است.اصلی ترین منابع تولید صدا در بالگرد ملخها ، موتور و سامانه انتقال قدرت هستند. در این نوشته تاکید بیشتر بر صداهای ایروآکوستیکی بیرونی ناشی از ملخ اصلی است. در یک دسته بندی کلی ، صداهای بالگرد به گونه های پایا، تناوبی و تصادفی تقسیم می شوند. این تنوع، از حضور نیروهای متغییر روی تیغه نشات می گیرد. اثرات آیرودینامیک غیر خطی در عدد ماخ بالا نیز از دیگر منابع تولید صدای تیغه هاست.این صداها هریک دارای جهت انتشار و بسامد متفاوتی هستند که به صورت جداگانه برای هر سازوکار بیان خواهد شد.

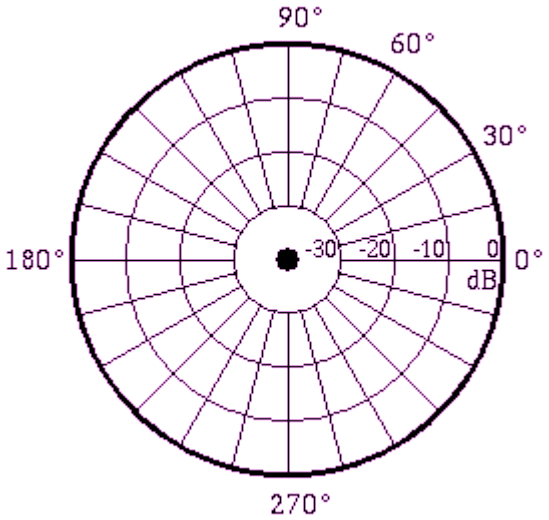
موتورها صداهای متنوعی دارند. صداهایی از قبیل صدای دریچه ورود، کمپرسور، محفظه احتراق و دریچه خروجی و همچنین صداهای ناشی از ارتعاشات سازه ای موتور از جمله این صداها هستند. این صداها عموما نسبت به صدای ملخ اهمیت کمتری دارند. سامانه انتقال قدرت نیز می تواند از انواع منابع صداهای بیرونی بالگرد در نظر گرفته شود گر چه عموما مهمترین صدای درونی بالگرد نیز همین صدا گفته می شود. این صدا یک صدای ایرواکوستیکی نیست و می تواند با رهیافت های کنترل صدای صنعتی استاندارد کم شود. در این روشها با کنترل لرزش سامانه و درنتیجه کم کردن تاثیر اکوستیکی این لرزش صدای ناشی از بخش انتقال قدرت را کم می کنند[۱].

۳. مروری بر اکوستیک

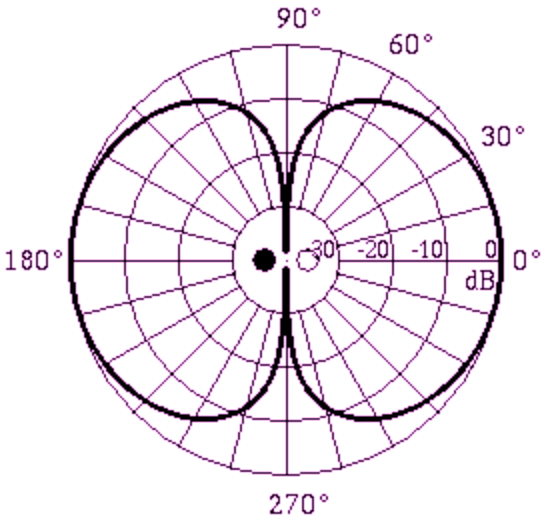
صدا یک موج مکانیکی است که از لرزش ذرات ماده بوجود می آید. با لرزش ذرات ماده انرژی انتقال می یابد. این لرزش می تواند در جهت

* دانشجوی کارشناسی مهندسی هوافضا دانشگاه صنعتی شریف

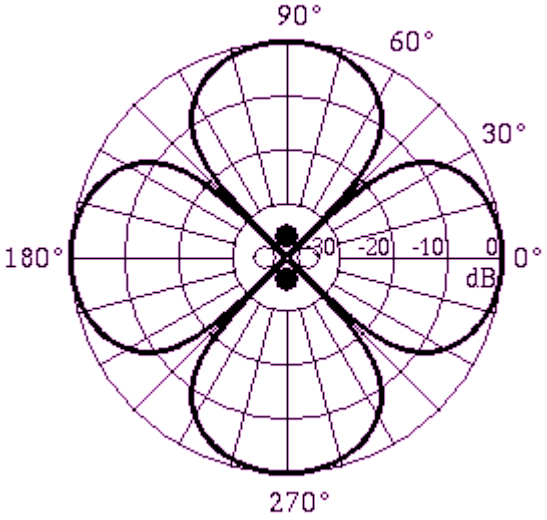
انتشار یا عمود بر آن یا در حالتهای ویژه با اشکال خاص صورت گیرد. برای هوا این لرزش در جهت طولی یابه عبارتی موازی جهت انتشار صورت می گیرد. چنین امواجی در اصطلاح امواج طولی می نامند. در هوا صدا با ایجاد تراکم و انبساط میان مولکولهای هوا منتشر می شود.برای انتشار صوت در هوا عموما سه مدل کاربرد بیشتری دارد و در حالت فیزیکی نیز این سه مدل در حالت واقعی بیشتر رخ می دهند.تفاوت سه مدل یاد شده از حرکت جسم تولید کننده صدا در هوا ناشی می شود. در شکلهای ۱ تا ۳ میدان فشار ناشی از این سه مدل را می بینید.[۱]



شکل ۱:مدل تک قطبی



شکل ۲: مدل دو قطبی



شکل ۳ :مدل چهار قطبی

برای جامدات حالتهای مختلفی برای انتشار صدا تعریف می شود که جدول زیر برخی از این حالت ها را نشان می دهد.

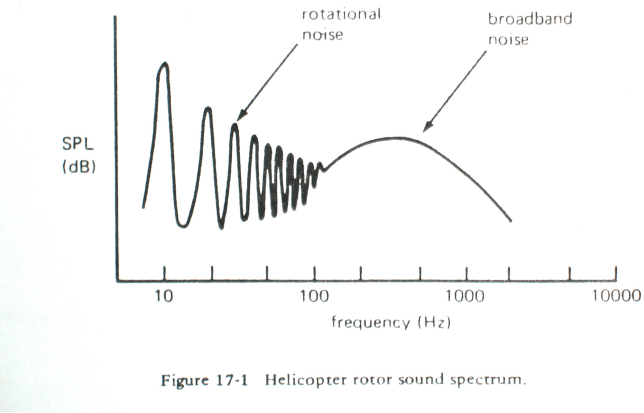
Wave Types in Solids	Particle Vibrations
Longitudinal	Parallel to wave direction
Transverse (Shear)	Perpendicular to wave direction
Surface - Rayleigh	Elliptical orbit - symmetrical mode
Plate Wave - Lamb	Component perpendicular to surface (extensional wave)
Plate Wave - Love	Parallel to plane layer, perpendicular to wave direction
Stoneley (Leaky Rayleigh Waves)	Wave guided along interface
Sezawa	Antisymmetric mode

٤. ایروآکوستیک بالگرد

محیط ایرودینامیکی تیغه های بالگرد به دلیل وجود چرخش تیغه ها وجابجایی همزمان بالگرد بسیار پیچیده است. این پیچیدگی زمانی بهتر درک می شود که ما علاوه بر این، اثرات متقابل ملخ اصلی با بدنه و ملخ دم را نیز در نظر بگیریم. این اثرات ایرودینامیکی ناپایا به همراه سامانه انتقال قدرت ، موتور و ملخ دم هر یک تولید کننده بخشی از صدای بالگرد هستند. صداهای ناشی از پرواز بالگرد به شدت تحت تاثیر تغییرات شرایط ایرودینامیکی ملخ اصلی هستند.

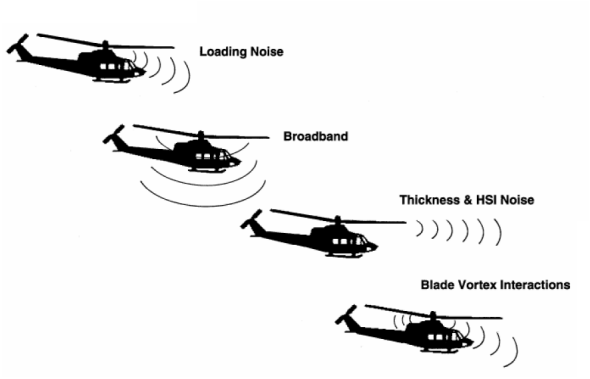
---

۱ براي درك بهتر مدل ها به تصاوير پويانمايي در پوشه تصاوير مراجعه نماييد.



شکل ٤ نمای شماتیک آیرواکوستیک بالگرد[٥]

در صورتی که بخواهیم دید نسبتا کلی از گستره ی صداهای یک بالگرد داشته باشیم، تصویر شماتیک آقای جانسون می تواند چنین دیدی را برای ما فراهم آورد. همانگونه که در شکل ٤ می بینید در صورتی که از بسامد های پایین به بالا در منحنی حرکت کنیم اولین صداهایی را که با آنها مواجه می شویم صداهای ناشی از تغییر نوسانی نیروهای روی تیغه هستند سپس با هارمونیکهای بعدی این نیرو ها، که در حقیقت ضرایب طبیعی بسامد اصلی هستند مواجه می شویم. هارمونیک های مرتبه ی بالاتر که از نیروهای ضعیف تری ناشی می شوند به نسبت صداهای ضعیفتری تولید می کنند. با افزایش بسامد به صداهای ناشی از ملخ دم می رسیم که مهمترین نکته درمورد آنها این است که این صداها به دلیل بالاتر بودن بسامد اصلی ملخ دم بر خلاف ملخ اصلی در حیطه بسامد شنوایی گوش انسان قرار می گیرند(در شکل ٦ نیز این نکته بوضوح مشخص است). بعد از این صداها صداهای تداخلی و گردابه ای قرار می گیرند که معمولا از آنها به عنوان صداهای با گستره بسامد زیاد یاد می شود. اصلی ترین صداهای ایروآکوستیکی ملخ اصلی عموما به چهار گونه تقسیم می شوند: صداهای با گستره بسامد زیاد ، صداهای ناشی از چرخش ، صداهای ضربه ای سرعت بالا و صداهای ناشی از برخورد تیغه با گردابه.



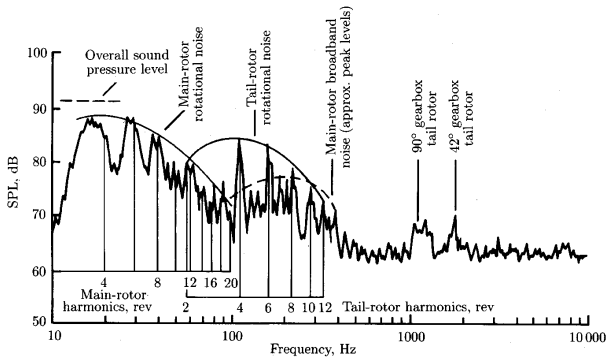
شکل ٥ جهت انتشار انواع صدا در بالگرد

١.٤. صداهای با گستره بسامد زیاد

این صداها از نوسانات تصادفی نیروهای وارد بر تیغه بوجود می آیند و بازه بسامد گسترده ای دارند. از اصلی ترین عوامل این صداها می تواند به دنباله ی آشفته لبه ی فرار تیغه ها اشاره کرد. نیروهای تصادفی بوجود آمده ناشی از این اثرات باعث انتشار انرژی صوتی در محیط می گردد. این انرژی در گستره ی بسامد حدود ١٥٠ تا ١٠٠٠ هرتز قرار می گیرد. عموما این صداها نسبت به سایر صداهای بالگرد دامنه کمتری دارند[١].

٢.٤. صداهای ناشی از چرخش

صداهای ناشی از چرخش تیغه به صداهایی گفته می شود که در زمان چرخش در اثر تغییر تناوبی نیروهای برآ وپسا بوجود می آیند. این نیرو ها به ترتیب صداهای درون صفحه و برون صفحه تولید می کنند. صدای ناشی از چرخش را عموما به دو دسته ی صدای ناشی از تغییر تناوبی بارگذاری و صدای ناشی از اثر ضخامت تقسیم می کنند. در حالت کلی صدای ناشی از نیروهای پایای روی تیغه در حال چرخش (برآ و پسا) در دو جهت، صدای نیروهای پایای ناشی از ضخامت تیغه در یک جهت و صدای ناشی از تنش های شاره ای در چهار جهت منتشر می شوند. در شکل ٥ می توانید جهت انتشار انواع صداهای بالگرد را مشاهده کنید. از آنجا که صداهای بسامد پایین به خوبی در هوا منتشر می شوند، صداهای ناشی از چرخش می توانند موجب شناسایی بالگرد از فواصل دور گردند. این صدا همچنین می تواند منبع ارتعاش و خستگی سازه‌ای القایی آکوستیکی در بالگرد گردد. شکل ٦ طیف بسامد یک بالگرد نمونه را نشان می دهد. البته این نمودار با توجه به هندسه ملخ و شرایط محیطی تغییر می کند.



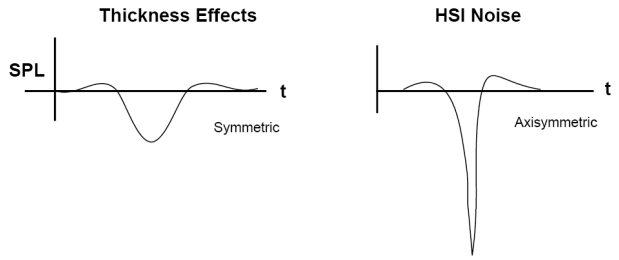
شکل ٦ طیف بسامد یک بالگرد

٤.٢.١. اثرات ضخامت

با جابجایی هوا به وسیله‌ی تیغه ملخ یک اغتشاش ایرودینامیکی تک جهته در هوا به وجود می آید. به دلیل بستگی اندازه این اغتشاش به ضخامت تیغه از آن به اثر ضخامت یاد می شود. صدای ناشی از این اثر معمولا در جهت صفحه ملخ منتشر می شود.

٤.٣. صداهای ضربه ای سرعت بالا

زمانی که سرعت نوک تیغه از سرعت صوت می گذرد ، در اطراف تیغه موج ضربه ای ایجاد می شود. این امواج موجب انتشار یک صدای ضربه ای چهار قطبی می شود[٣]. به دلیل ارتباط این صدا با ایرودینامیک تیغه می توان گفت که این صدا تحت تاثیر ضخامت تیغه قرار دارد. عموما این صدا دارای قله های تیز و بلند فشار است و تمایل دارد در صفحه ملخ منتشر شود .شکل ٧ مقایسه ای میان نمودار تغییرات فشار ناشی از اثر ضخامت و صدای ضربه ای سرعت بالا را نشان می دهد.



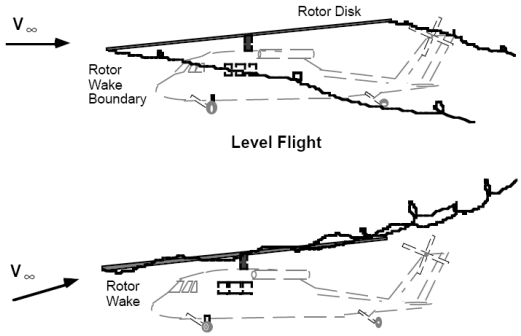
شکل ٧ مقایسه ای میان نمودار تغییرات فشار ناشی از اثر ضخامت و صدای ضربه ای سرعت بالا

امروزه با در نظر گرفتن این پدیده بالگردها را به گونه ای طراحی می کنند که در پرواز رو به جلو سرعت نوک تیغه پیشرو به سرعت گذرصوتی نرسد. زیرا علاوه بر اثرات صدا این پدیده کارایی بالگرد را نیز به شدت تحت تاثیر قرار می دهد. بالگردهای امروزی با ترفندهایی نظیر استفاده از تیغه های دارای زاویه پسگرایی یا هوابرهای نازکتر در نوک تیغه و افزایش تعداد تیغه (کم شدن سرعت زاویه ای) از رسیدن سرعت نوک تیغه به سرعت صوت پیشگیری می کنند.

٤.٤. صداهای ناشی از برخورد تیغه و گردابه

صدای ناشی از برخورد تیغه و گردابه یک صدای ضربه ای با دامنه بسیار بالاست که در زمان بروز ، سایر صداهای بالگرد را تحت تاثیر خود قرار می دهد. در زمانی که بالگرد به آرامی در حال فرود است ، فروزش صفحه ملخ تمایل پیدا می کند تا در صفحه ملخ باقی بماند. شکل ٨ این حالت را برای بالگرد نشان می دهد. به همین جهت گردابه ها و دنباله های تیغه های روی صفحه ملخ باقی می مانند و در ناحیه ای از صفحه تیغه ها با گردابه های نوک بال ناشی از تیغه ی جلویی برخورد می نمایند و صدای بلندی ایجاد می کنند. تغییر سریع در سرعت القایی ناشی از گردابه نوک تیغه ها موجب تغییرات ناگهانی در بارگذاری وتر تیغه می شود. این تغییر ناگهانی باعث برخاستن صدای مهیبی از تیغه می شود که به صدای برخورد تیغه و گردابه معروف است.

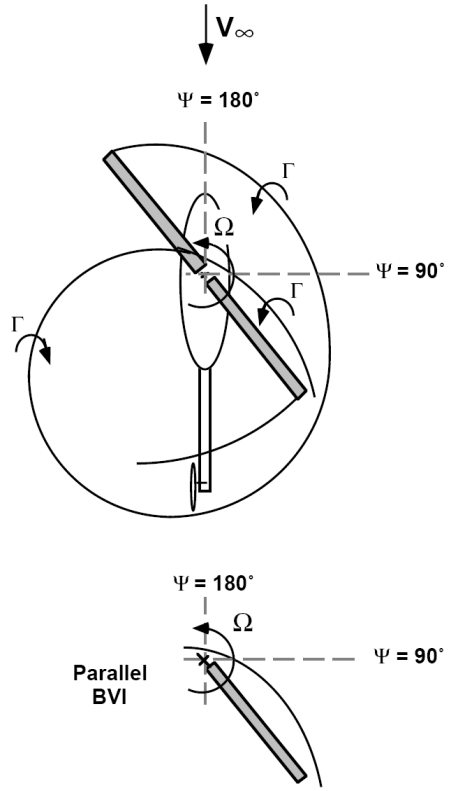
بر خلاف صداهای ضربه ای سرعت بالا که درصفحه ملخ منتشر می شوند ، صدای ناشی از برخوردگردابه با تیغه در جهت بیرون صفحه ملخ منتشر می شود و اغلب رو به پایین و با زاویه ی ٣٠ تا ٤٠ درجه نسبت به صفحه ملخ است[٤]. این موجب بلندتر شدن صدای بالگرد برای ناظر زمین در حین فرود می گردد. این صدا عموما در بالگردهای شینوک نیز ، در اثر برخورد گردابه های ملخ جلو با تیغه های ملخ عقب وجود دارد.



شکل ٨ باقی ماندن گردابه ها در صفحه ملخ در هنگام فرود آرام

تیغه ملخ می تواند با زوایا ی متفاوتی با تار گردابه برخورد نماید. این زاویه به مواردی مانند زاویه تیغه با محور طولی بالگرد و عمر گردابه بستگی دارد. سخت ترین برخورد زمانی صورت می گیرد که گردابه با تیغه به صورت تقریبا موازی برخورد نماید. زیرا در این حالت تمام طول تیغه به یکباره با تار گردابه برخورد می نماید. برخورد موازی تیغه با گردابه به

عنوان مهمترین حادثه آکوستیکی بالگرد شناخته می شود. شکل ۹ نمونه ای از برخورد موازی را نشان می دهد.

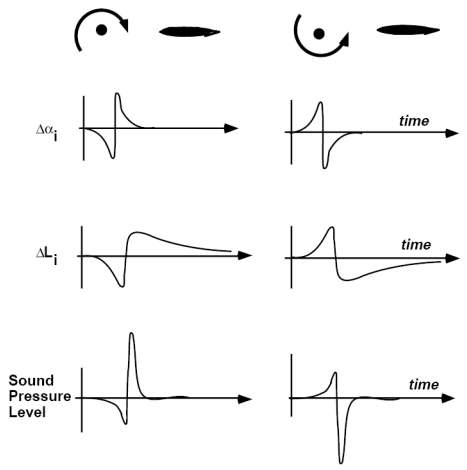


شکل ۹ نمونه ای از برخورد موازی تیغه باگردابه

در زمان برخورد یک گردابه ساعتگرد با تیغه ، ابتدا گردابه یک زاویه حمله ی منفی در تیغه القا می کند و سپس در زمان عبور کامل به سرعت این زاویه حمله القایی به یک زاویه مثبت تبدیل می شود. . شکل ۱۰ تغییر فشار ناشی از برخوردگردابه با تیغه را در بازه زمانی برخورد نشان می دهد.

اهمیت آکوستیکی و قدرت صدای ناشی از برخورد تیغه و گردابه به عوامل مختلفی بستگی دارد از جمله این عوامل می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱)قدرت گردابه نوک تیغه
۲)میدان سرعت القایی و اندازه هسته گردابه نوک تیغه
۳)زاویه برخورد گردابه و تیغه
٤)فاصله تار گردابه از تیغه
٥)سرعت صوت موضعی در برخورد



شکل ۱۰ فشار ناشی از برخوردگردابه با تیغه در بازه زمانی برخورد

٥ . سازوکارهای کم کردن صدای بالگرد

برای کم کردن صدای بالگرد تا کنون سازوکارهای متعددی تعریف شده است. از جمله این ترفندها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱.٥. قرار دادن موتور بالگرد در بخش بالایی آن : این راهکار باعث می شود تا بخش اعظم صدای موتور به سمت بالای آن منتشر شود و صدای انتشار یافته به سمت زمین را کاهش می دهد.

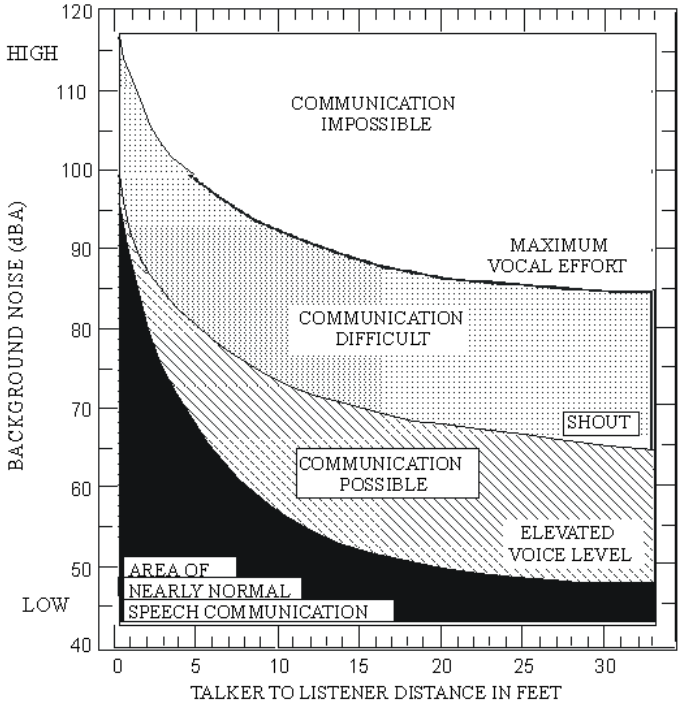
۲.٥. قرار دادن ملخ دم در محفظه استوانه ای در دم بالگرد: این ترفند موجب می شود اولا انتشار صدای ناشی از ملخ دم به سمت زمین کم می شود و دوما اثر قرار گرفتن ملخ دم در معرض برخورد قطری با گردابه های نوک ملخ اصلی را کم می کند. نکته ای که پیشتر نیز اشاره شد مهمتر بودن ملخ دم از نظر صداهای ناشی از تغییر بارگذاری است زیرا همانگونه که گفته شد معمولا صداهای ناشی از بسامد اصلی و هارمونیکهای نخست تغییر نیروهای ملخ اصلی در حیطه شنوایی انسان قرار نمی گیرند.

۳.٥. افزایش تعداد تیغه های ملخ دم : این رهیافت به طرز قابل توجهی صدای ملخ دم را کم می کند. زیرا همانگونه که در مورد ملخ اصلی مطرح شد افزایش تعداد تیغه موجب کم شدن بارگذاری روی هر تیغه و در نتیجه کاهش نوسانات بارگذاری و صدای ملخ دم می شود.

٤.٥. در سالهای اخیر روش دمیدن هوا از لبه‌ی حمله تیغه ها نیز برای کاهش صدای ناشی از برخورد موازی تیغه و گردابه مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج تجربی نیز اثر بخشی این روش را تایید کرده اند[٦].

٥,٥. نکته دیگری که پژوهش های اخیر نشان داده است اثر انعطاف پذیری تیغه و استفاده از لولاهای کافی در توپی بالگرددر کاستن از صدای بالگرد است[۷].

٦. اثرات صدای بالگرد بر جامعه



شکل ١١ میزان تاثیر صدا با قدرتهای متفاوت را بر حسب فاصله بر ارتباط گفتاری-شنیداری

صدای بالگرد میتواند موجب مشکلات نسبت با اهمیتی در جامعه شود از جمله این مشکلات می توان موارد زیر را نام برد.

١)از دست دادن شنوایی در اثر وجود مداوم صدای بالگرد

٢)مشکل شدن ارتباط گفتاری -شنیداری در جامعه

٣)کاسته شدن از عمق خواب و مشکلات خوابیدن

٤)کم شدن سطح یادگیری در کلاسهای درس

٥)مشکلات روحی و اثر ناخود آگاه صدای بلند بر جسم انسان

٦)آزار ذهنی و روانی افراد

دامنه فرکانس اصوات شنوایی برای گوش افراد جوان و سالم معمولا ٢٠٠٠٠ـ ٢٠ هرتز و فرکانس های گفتاری ٢٥ تا ٣٠٠٠ هرتز در نظر گرفته می شود کاهش شنوایی ناشی از سروصدا در مراحل اولیه در فرکانس حدود ٤٠٠٠ هرتز ظاهر می شود ولی در مراحل بعد فرکانس های بالاتر و پایین تر را نیز فرا می گیرد[٨].

کارشناسان معتقدند استاندارد آلودگی صوتی در هوای آزاد برای مناطق مسکونی به ترتیب از ساعت ٧ صبح تا ١٠ شب ، ٥٥ دسی بل و از ساعت ٢٢ تا ٧ صبح ۴۵ دسی بل است[٩].

اصولاسر و صدای زیاد و آلودگی صوتی نوعی عامل استرس زای بیولوژیک است که نه تنها بر سیستم شنوایی بلکه بر کل بدن انسان تاثیر می گذارد. بدین صورت که باعث تحریک سیستم اعصاب مرکزی ،تاثیر برسیستم غده هیپوفیز و آدرنال، ایجاد اختلالات هورمونی وعدم سلامت می شود وهنگامی که باعث کاهش شنوایی شود شخص نمی تواند به راحتی با افراد اجتماع ارتباط برقرار کند و این خود باعث کاهش کیفیت زندگی و سلامت روانی او می شود و باری را بردوش اجتماع وجامعه می گذارد[٨].

شما در شکل ١١ می توانید میزان تاثیر صدا با قدرتهای متفاوت را بر حسب فاصله بر ارتباط گفتاری-شنیداری جامعه ببینید. در کل به نظر می رسد اهمیت اثرات صدای بالگرد بر جامعه چنان است که بهتر است در طراحی این پرنده در نظر گرفته شود.

مراجع :

[١]. Helicopter Blade-Vortex Interaction Noise with Comparisons to CFD Calculations , Megan S McCluer , NASA Technical Memorandum ١١٠٤٢٣ , December ١٩٩٦

[٢]. Helicopter Noise: State-of-the-Art ، A. R. George Cornell University, Ithaca, N. Y , J. AIRCRAFT , VOL. ١٥, NO. ١١, NOVEMBER ١٩٧٨

[٣]. Concepts for reduction of blade/vortex interaction noise. J. C. Hardin and S. L. Lamkin. Journal of Aircraft, ٢٤(٢):١٢٠–١٢٥, ١٩٨٧.

[٤]. Sensitivity of helicopter blade-vortex-interaction noise and vibration to interaction parameters .B. Malovrh and F. Gandhi. Journal of Aircraft, ٤٢(٣):٦٨٥–٦٩٧, May-June ٢٠٠٥.

[٥]. Helicopter Theory , Wayne Johnson ١٩٨٠

[٦]. Modification of Parallel Blade-Vortex Interactions Using Leading Edge Blowing, Christopher Weiland

[٧].THE EFFECT OF BLADE FLEXIBILITY ON ROTORCRAFT ACOUSTICS ,Christopher C. Hennes

[٨]. زهرا طباطبایی ، بررسی آلودگی صوتی محیط کار بر میزان افت شنوایی کارگران

[٩]. http://www.aftab.ir/news/٢٠٠٨/jan/٢١/c ٤c ١٢٠١٧٨٤٥٣ ٨_social_urban.php