اصول مهندسی فرودگاه

دانشگاه آزاد اسلامی
بندرعباس

موضوع درس ۵#
طراحی باند خزش

بیژن سعیدی نژاد
کارشناس ارشد مدیریت و برنامه ریزی حمل و نقل
کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت
MBA

عوامل موثر در طراحی باند خزش

- عمل اصلی باند خزش
  - تامین دسترسی هواپیماها از باند پرواز به محوطه پایانه و آشیانه سرویس و بالعکس
- مطاحظات زیر در تصمیم گیریهای طراحی باند خزش موثر هستند:
  - باید طوری باشد که هواپیماهائی که فرود آمده اند و به سوی محوطه پایانه در حرکت میباشند با هواپیماهای در حال برخاست برخورد نکنند
  - در فرودگاههای شلوغ، باد در نقاط مختلفی در طول باند پرواز قرار گرفته باشند به طوریکه هواپیمای فرود آمده بتواند هر چه زودتر باند پرواز را ترک کند و آن را از هرگونه مانعی جهت استفاده سایر هواپیماها رها سازد. (این قبیل باندهای خزش را بنام باند خزش خروجی مینامند.)

عوامل موثر در طراحی باند خزش

- مطاحظات زیر در تصمیم گیریهای طراحی باند خزش موثر هستند (ادامه)
  - مسیر باند خزش باید آنچنان انتخاب گردد که کوتاهترین فاصله از محل بارگیری و سوارکردن مسافر تا انتهای باند پرواز را داشته باشد
  - حتی المقدور از قطع باند پرواز توسط باند خزش باید اجتناب گردد
  - باند خزش خروجی باید برای سرعت های زیاد گردش، طراحی شود. این عمل باعث کاهش زمان اشغال باند پرواز بوسیله هواپیما شده و در نتیجه افزایش ظرفیت فرودگاه را بدنبال دارد

استانداردهای طراحی هندسی

- سرعت هواپیما بر روی باند خزش بسیار کمتر از سرعت آن در روی باند پرواز در هنگام نشست و یا برخاست میباشد. بنابراین استانداردهای طراحی باند خزش مانند استانداردهای باند پرواز انعطاف ناپذیر نمیباشد.
- اجزاء طراحی باند خزش بصورت زیر میباشد
  - طول باند خزش
  - عرض باند خزش
  - عرض منطقه ایمن (حریم باند خزش)
  - شیب طولی
  - شیب عرضی
  - نسبت تغییر شیب طولی
  - مسافت دید
  - شعاع گردش

استانداردهای طرح هندسی

- طرح هندسی باند خزش

طبقه‌بندی ایکائو ICAO	عرض باند خزش m	عرض باند خزش ft	حداکثر شیب طولی (درصد)	حداقل شیب عرضی (درصد)	حداکثر میزان تغییر شیب طولی به‌ازاء هر سی‌متر (درصد)	عرض منطقهٔ ایمن
A	22.5	75	1.5	1.5	1.0	پیشنهاد میشود شانه‌ها چمنکاری یا روکش شود
B	22.5	75	1.5	1.5	1.0	
C	15.0	50	3.0	1.5	1.0	
D	9.9	33	3.0	2.0	1.2	
E	7.5	25	3.0	2.0	1.2	

استانداردهای طرح هندسی

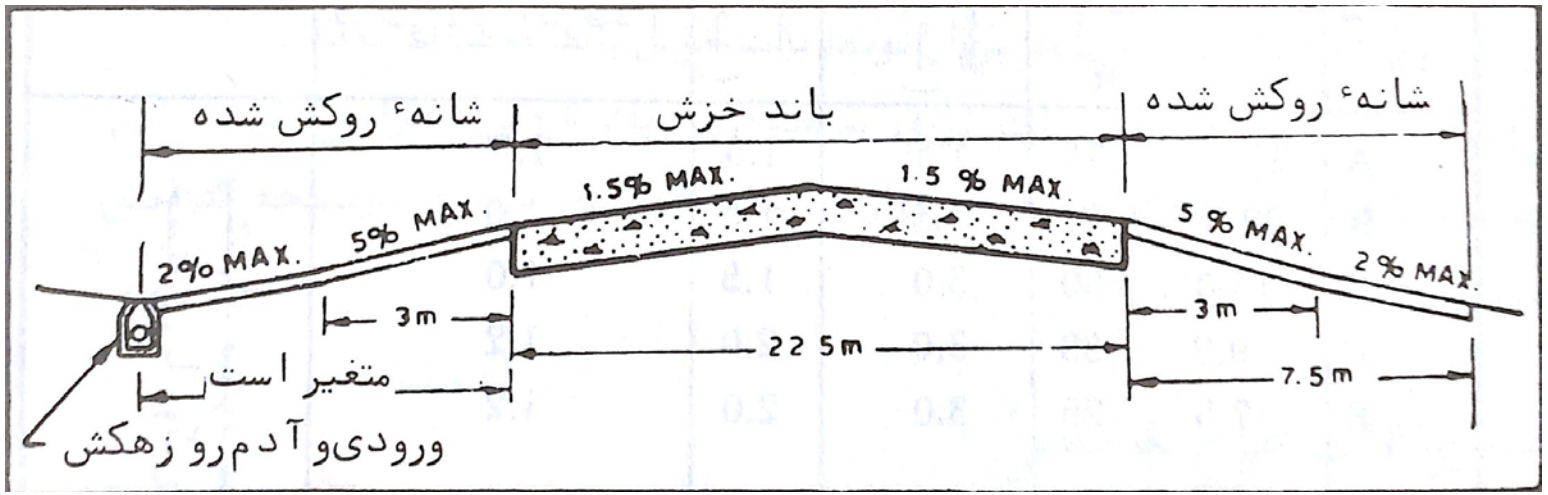
- طول باند خزش
  - باید حتی المقدور کوتاه باشد زیرا باعث صرفه جویی مصرف سوخت میگردد.
  - هیچگونه محدودیتی در رابطه با طول باند خزش توسط هیچکدام از سازمان ها ارائه نشده است.
- عرض باند خزش
  - عرض لازم بسیار کمتر از عرض باند پرواز است زیرا سرعت هواپیما بر روی باند خزش بسیار کمتر از سرعت هواپیما بر روی باند پرواز است. بنابراین خلبان به راحتی میتواند هواپیما را بر روی عرض کمتر باند خزش نسبت به باند پرواز هدایت نماید.

استانداردهای طرح هندسی

- عرض منطقه ایمن (حریم باند خزش)
  - این منطقه شامل سطح روسازی شده باند خزش به اضافه شانه های طرفین باند و سطوح پاکسازی، شیب بندی و زهکشی شده اطراف باند میباشد.
  - این منطقه را باید طوری مسطح نمود که آبهای سطحی براحتی جمع آوری گردند.
  - قبل از اختراع هواپیماهای جت، شانه ها از زمین طبیعی چمن کاری شده کم ارتفاع و یا مصالح شنی تثبیت شده مورد استفاده قرار میگرفت.
  - با ورود هواپیماهای جت و مساله فرسایش شانه در اثر سرعت زیاد هوای خارج شده از اگزوز لازم به نظر میرسد که عرض معینی حدود ۷/۵ متر از شانه راه در مجاورت لبه روسازی با مصالح کم مقاومت روکش گردد.

استانداردهای طرح هندسی

- عرض منطقه ایمن (حریم باند خزش) (ادامه)
  - سطح روسازی شده باید غیر قابل نفوذ و هموار بوده و نباید در اثر گازهای گرم خروجی اگزوز جت منهدم شود.
  - معمولاً قیر و خاک جهت تثبیت مورد استفاده قرار میگیرد.
  - شانه ها باید به حد کافی ضخیم بوده و تحت ترافیک وسایل نقلیه پلیس و خدمه فرودگاه و وسایل نظافت و آتش نشانی پایداری نماید.



استانداردهای طرح هندسی

- شیب طولی
  - اگر باند خزش دارای شیب طولی زیاد باشد، مصرف سوخت نیز بیشتر خواهد شد. طبق توصیه ایکائو شیب طولی نباید از ۱/۵ درصد برای فرودگاه نوع A,B و برای سایر فرودگاه ها از ۳ درصد تجاوز نماید.
- شیب عرضی
  - از عوامل موثر در تخلیه سریع آبهای سطحی شیب عرضی میباشد.
  - طبق توصیه ایکائو، شیب عرضی روسازی باند خزش نباید از ۱/۵ درصد برای فرودگاههای A,B,C و ۲ درصد برای فرودگاههای نوع E,D تجاوز کند.
  - حداقل شیب عرضی تعیین نشده است ولی به هر صورت همانطور که در باند پرواز هم توصیه گردید یک حداقل شیب عرضی معادل ۰/۵ درصد پیشنهاد میگردد.
  - موسسه ایکائو هیچ مقداری را برای شیب عرضی شانه ها ارائه نداده است. طبق توصیه FAA شیب عرضی برای ۳ متر اول ۵ درصد و بعد از آن ۲ درصد برای همه نوع فرودگاه انجام میپذیرد.

استانداردهای طرح هندسی

- نسبت تغییر شیب طولی
  - این عامل تاثیر مستقیم بر روی مسافت دید دارد.
  - طبق توصیه ایکائو، نسبت تغییر شیب در پروفیل طولی نباید از یک درصد به ازاء هر ۳۰ متر طول قوس قائم برای فرودگاههای A,B,C و ½ درصد برای فرودگاههای D,E تجاوز نماید.
- مسافت دید
  - چون سرعت هواپیما بر روی باند خزش کمتر از باند پرواز میباشد، بنابراین مسافت دید در باند خزش کمتر است.
  - طبق توصیه ایکائو، سطح باند خزش باید از یک ارتفاع ۳ متری و بفاصله ۳۰۰ متری برای فرودگاههای A,B,C و از یک ارتفاع ۲/۱ متری و بفاصله ۲۴۹ متری برای فرودگاههای D,E قابل رویت باشد.

استانداردهای طرح هندسی

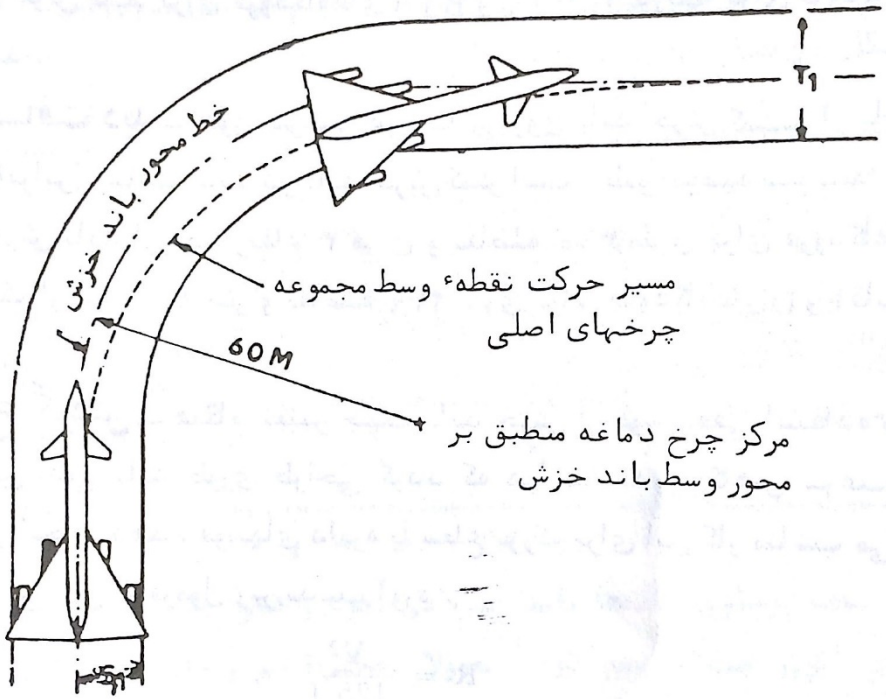
- شعاع گردش
  - هنگام تغییر جهت باند خزش از قوس افقی استفاده میشود. بنابراین قوس افقی باید طوری طراحی گردد که هواپیما بدون کاهش سرعت بتوانند عمل گردش را انجام دهد.
  - قوسهای دایر با شعاع بزرگ برای این کار مناسب میباشند
  - شعاع قوس را میتواند از فرمول زیر بدست آورد.

$$R = \frac{V^2}{125F}$$

  - R شعاع قوس دایره بر حسب متر
  - V سرعت هواپیما بر حسب کیلومتر بر ساعت
  - F ضریب اصطکاک بین لاستیک و سطح روسازی بوده و مقدارش بر اساس سرعت متغیر است، اما در بیشتر مسائل میتواند یک مقدار ۰/۱۳ را برای آن منظور کرد.
  - حداقل شعاع گردش برای فرودگاههایی که به هواپیماهای بزرگ جت سرویس میدهند ۱۲۰ متر و برای هواپیماهای مافوق صوت حداقل ۱۸۰ متر پیشنهاد میگردد.

استانداردهای طرح هندسی

- شعاع گردش (ادامه)
  - چگونگی مسیر حرکت چرخهای هواپیمای مافوق صوت بهنگام نزدیک به لبه روسازی (فاصله بین چرخهای جلو و عقب ۳۱/۲ متر) در قوسی به شعاع ۶۰ متر در شکل زیر نشان داده شده است.



استانداردهای طرح هندسی

- شعاع گردش (ادامه)
  - نظریه هرنجف Horonjeff
    - شعاع قوس باند خزش باید طوری انتخاب گردد که هنگام عبور هواپیما فاصله هیچ کدام از چرخ ها تا لبه داخلی قوس کمتر از ۶ متر نباشد
  - فرمول زیر توسط هرنجف پیشنهاد شده است:

$$R = \frac{388W^2}{\frac{T}{2} - S}$$

- R شعاع باند خزش بر حسب متر
- W فاصله بین چرخهای جلو و عقب هواپیما بر حسب متر
- T عرض روسازی باند خزش بر حسب متر
- S فاصله وسط مجموعه چرخهای اصلی تا لبه روسازی باند خزش بر حسب متر

* بنابراین اگر خلبان چرخ جلوی هواپیما را بر روی خط محور باند خزش با شعاع بدست آمده از فرمول فوق نگهدارد، فاصله لبه هیچ چرخی تا قوص داخلی روسازی از ۶ متر کمتر نخواهد شد.

استانداردهای طرح هندسی

- شعاع گردش : مثال
  - یک باند خزش برای عملیات بوئینگ ۷۰۷ که دارای خصوصیات زیر میباشد طراحی شده است. مطلوبست تعیین شعاع گردش باند خزش
    - فاصله بین چرخهای عقب و جلو ۱۷/۷ متر
    - فاصله بین مجموعه چرخ های اصلی ۶/۶۲ متر
    - سرعت گردش ۴۰ کیلومتر بر ساعت
    - اصطکاک بین لاستیک و سطح روسازی ۰/۱۳

استانداردهای طرح هندسی

- شعاع گردش : مثال
  - حل:

شعاع گردش

۱) $R = \frac{V^2}{125\,f}$

$= \frac{(۴۰)^۲}{۱۲۵\times ۰/۱۳}$

$= ۹۶/۹۱ = ۹۷$ متر

۲) از معادله هرنجف برابر است با :

$R = \frac{0.388\ W^2}{T/2 - S}$

$W = ۱۷/۷$ متر

$T = ۲۲/۵$ متر

$S = ۶ + \frac{۶/۶۲}{۲} = ۹/۳۱$ متر

با جایگزین کردن مقادیر هریک از اجزاء در معادله هرنجف خواهیم داشت :

$R = \frac{۰/۳۸۸\times (۱۷/۷)^۲}{۱۱/۲۵ - ۹/۳۱}$

$= ۶۲/۹$ متر

۳) حداقل مطلق شعاع گردش هواپیماهای جت بدون توجه به سرعت برابر با :

$= ۱۲۰$ متر

بنابراین از بین سه مقدار فوق حداکثر آنرا انتخاب می‌نمایند .

$= ۱۲۰$ متر

باند خزش خروجی

- محل قرار گرفتن باند خزش خروجی به عوامل زیر بستگی دارد
  - تعداد باند خزش خروجی
    - اگر فقط دو باند خزش خروجی مورد نیاز باشد، طبیعی است که باید آنها در دو انتهای باند پرواز در نظر گرفته شوند.
    - در صورتیکه تعداد بیشتری باند خزش خروجی مورد نیاز باشد باید در طول باند پرواز توزیع گردند
  - سرعت خروج
    - حداکثر سرعت هواپیما به هنگام گردش و ورود به باند خزش خروجی در رابطه با نوع آن تعیین میشود. جهت رسیدن از سرعت فرود به سرعت گردش، هواپیما به طول معینی از باند پرواز احتیاج دارد و در همین رابطه محل باند خزش خروجی تعیین میشود.

باند خزش خروجی

- محل قرار گرفتن باند خزش خروجی به عوامل زیر بستگی دارد(ادامه)
  - انواع هواپیماها
    - سرعت فرود هواپیماهای مختلف متفاوت میباشد. در نتیجه فاصله لازم برای کاهش سرعت هواپیماهای مختلف تا سرعت خروج به نوع هواپیما بستگی دارد.
  - وضعیت جوی
    - باد، درجه حرارت ، مه و غیره بر روی سرعت فرود هواپیما تاثیر دارند. این عوامل بنوبه خود فاصله مورد نیاز هواپیما جهت پایین آوردن سرعت خود به سرعت خروجی را تعیین میکند
  - سیمای توپوگرافی
    - ارتفاع زیاد یا دره عمیق، باعث کاهش دید شده و ممکن است بر روی سرعت فرود تاثیر داشته باشد. موانع موجود در منطقه دورزدن و فرود احتمالاً بر روی سرعت فرود تاثیر گذاشته و در نتیجه بر روی محل باند خزش خروجی موثر خواهد بود

باند خزش خروجی

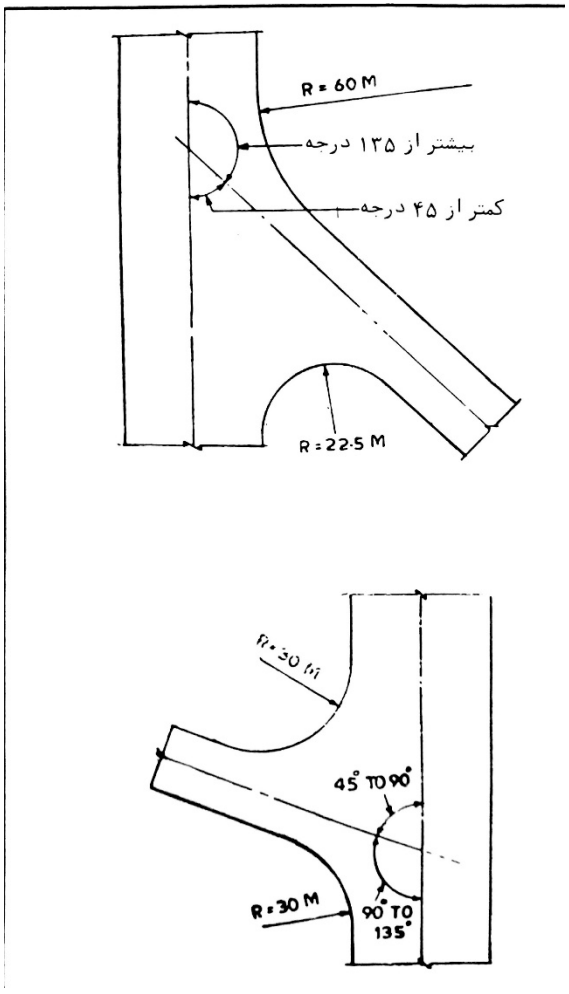
- محل قرار گرفتن باند خزش خروجی به عوامل زیر بستگی دارد(ادامه)
  - سلیقه خلبان
    - قوانین فرود هواپیماهای مسافربری کاملاً دقیق میباشد. لیکن خلبانها سلیقه های مختلفی دارند و بخصوص در انتخاب فاصله آستانده باند پرواز و نقطه تماس با زمین و یا در نحوه اعمال ترمز در باند پرواز اختلاف سلیقه بیشتری بچشم میخورد. تاثیر اختلاف سلیقه خلبانها در انتخاب محل باند خزش خروجی باید مورد بررسی قرار گیرد.

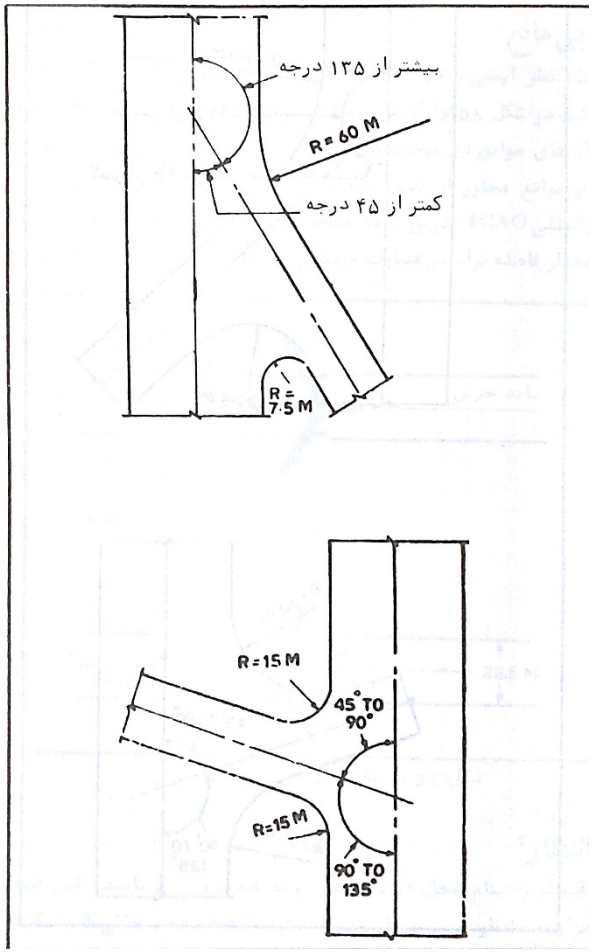
ماهیچه ها

- ماهیچه ها معمولاً در تقاطع دو یا چند مسیر ترافیک مانند باندهای پرواز، باندهای خزش و یا محوطه پایانه تعبیه میگردند.
  - در صورت در نظر نگرفتن ماهیچه کافی، یکی از چرخهای اصلی هواپیما معمولاً از روسازی خارج شده و از روی شانه عبور میکند.
  - به عنوان راهنما ایکائو توصیه مینماید که شعاع ماهیچه نباید کمتر از عرض باند خزش باشد.
  - توصیه موسسه FAA در مورد شعاع ماهیچه فرودگاه های کوچک و بزرگ در جدول زیر نمایش داده شده است

زاویه تقاطع	شعاع ماهیچه			
	فرودگاههای کوچک با هواپیماهای معمولی		فرودگاههای بزرگ با هواپیماهای حمل ونقل	
	(m)	(ft)	(m)	(ft)
0 — 45°	7.5	15	22.5	75
45° — 135°	15.0	50	30.0	100
More than 135°	60.0	200	60.0	200

ماهیچه ها

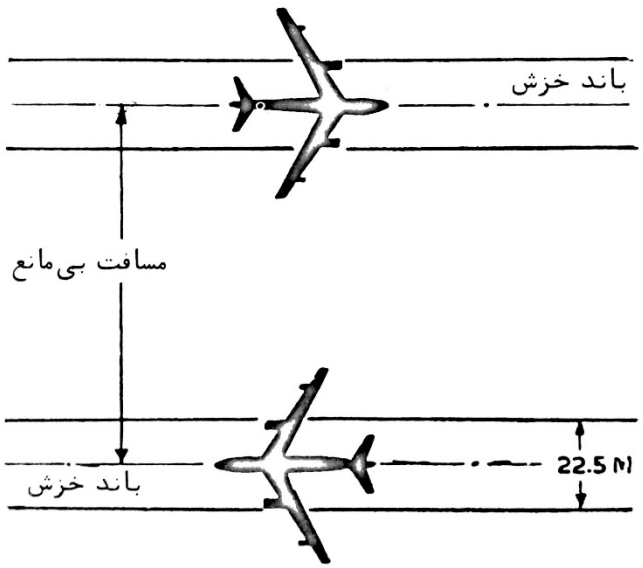




نمونه ماهیچه در باند پرواز و باند خزش در فرودگاههای کوچک و بزرگ

مسافت بی مانع

- از نقطه نظر ایمنی، دو مسیر ترافیکی موازی باید با فاصله کافی از یکدیگر به ترتیب منعکس در شکل زیر قرار گیرند.



- مسافت بی مانع بستگی دارد به
  - نوع فرودگاه
  - طول بال هواپیما
  - کمک های هوانوردی موجود در فرودگاه
- همچنین مسیر عبور ترافیک باید بحد کافی از موانع مجاور از قبیل ساختمان و غیره فاصله داشته باشد.
- توصیه های موسسه ایکائو در مورد حد مسافت بی مانع لازم در جدول ارائه شده است. این مقدار فاصله بر اساس قضاوت مهندسی و گزارش تصادفات تنظیم شده است.

مسافت بی مانع

جدول فاصله استاندارد مسافت بی مانع

طبقه‌بندی فرودگاه ICAO	فاصله از محور وسط باند پرواز تا								فاصله از محور وسط باند خزش تا			
	محور وسط باند خزش موازی			محور وسط باند پرواز موازی		لبهٔ ساختمان			محور وسط باند خزش موازی		لبهٔ منطقهٔ توقف هواپیما	لبه مانع ثابت
	فرود دستگاهی		فرود رؤیتی	فرود دستگاهی**	فرود رؤیتی*	فرود دستگاهی		فرود رؤیتی				
	1		2	3	4	5		6	7		8	9
	m	ft	m		m	ft	m	ft	m	ft		m	ft
A	184	613	109	363	210	700	150	500	75	250	84	280	مشابه ستون ۹	49	163
B	184	613	106	353	210	700	150	500	75	250	74	245		41.4	138
C	169	563	95	315	150	500	150	500	75	250	57	190		33	110
D	—	—	52	174	120	404	150	500	75	250	37	123		23.1	77
E	—	—	41.4	138	120	400	150	500	75	250	30	100		19.8	66

برای باندهای پرواز مجهز به سیستم فرود دستگاهی تعیین شده است

* برای عملیات در یک جهت

** طبق توصیه ICAO برابر ۱۲۹۰ متر برای دو فرود همزمان و ۱۰۰۵ متر برای فرود و برخاست مستقل همزمان در نظر گرفته میشود

محوطه انتظار

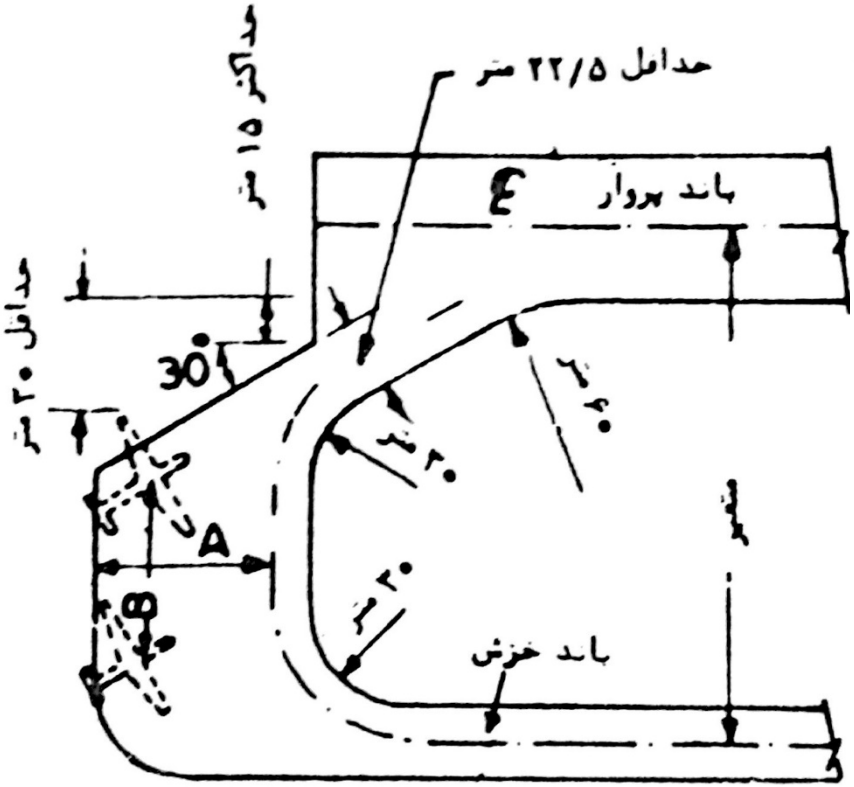
- این قسمت را بنام محل آماده شدن و یا گرم شدن مینامند. این قسمت در محلی که هواپیما منتظر نوبت پرواز میباشد قرار گرفته و جایی است که آخرین کنترل قبل از برخاست هواپیما از زمین را بر روی آن انجام میدهند.
  - محوطه انتظار معمولاً در انتهای باند پرواز و با وسعت کافی احداث میگردد، به طوریکه اگر یک هواپیما بعلل خرابی موتور قادر به برخاست نباشد، هواپیمای دیگر بتواند از کنار او جهت برخاست عبور نماید.
  - در صورتیکه چنین محلی پیش بینی نشود هواپیماهایی که میخواهند از زمین بلند شوند باید در صف انتظار در باند خزش متصل به انتهای باند پرواز معطل بایستند، چون عقب رفتن هواپیمای خراب و مراجعت به منطقه پایانه مشکل میباشد.

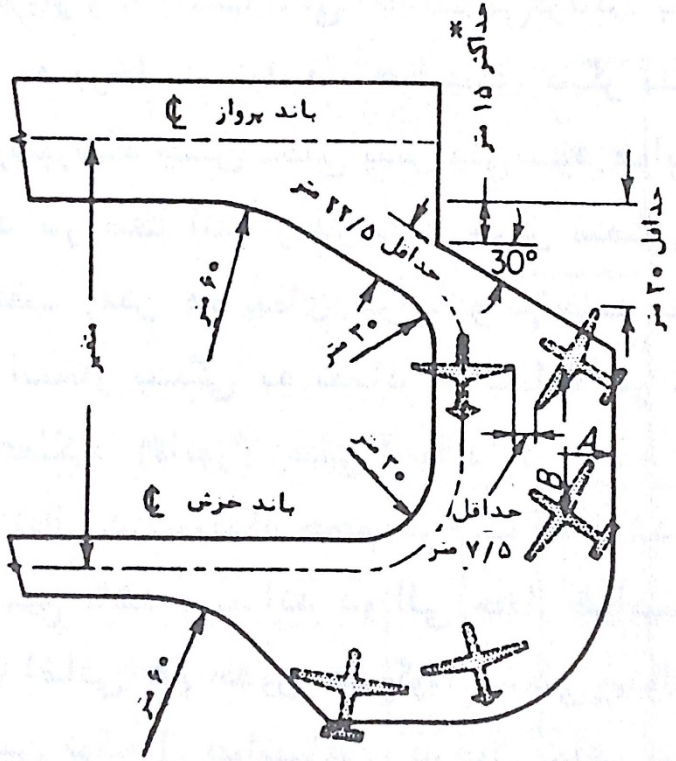
محوطه انتظار

- اندازه محوطه انتظار بستگی به تعداد هواپیماها در ساعت اوج، اندازه هواپیماها، و خصوصیات عملکرد (مانور) زمینی آنها دارد.
- پیش بینی محوطه انتظار در صورتیکه حجم ترافیک کم باشد لازم نیست.
- محوطه انتظار باید بحد کافی وسیع باشد و بتواند دو الی چهار هواپیما را در خود جا داده و یک هواپیمای اضافی هم بدون هیچگونه مشکلی بتواند از کنار آنها عبور نماید.
- مسافت بی مانع بین نوک بالهای هواپیماهای در حال توقف نباید از ۷/۵ متر کمتر باشد.
- زاویه ورودی به باند پرواز باید کمتر از ۹۰ درجه باشد، در غیر اینصورت خلبان نمیتواند سریع هواپیما را از باند خزش وارد باند پرواز نماید.

محوطه انتظار

- آرایش محوطه انتظار توصیه شده توسط سازمان FAA برای دو هواپیما



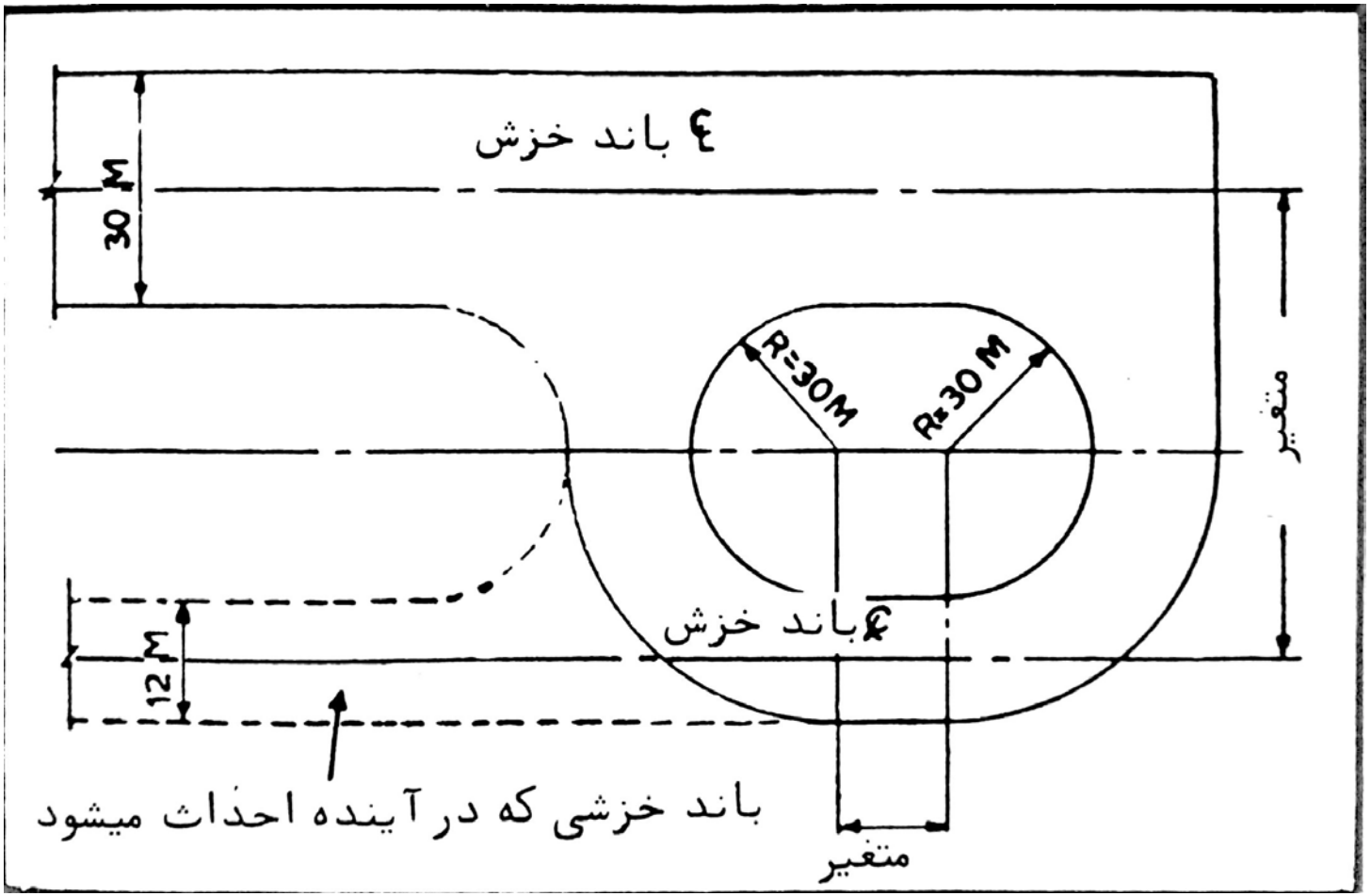


مقادیر A و B در رابطه با ترکیب چراغهای باند پرواز متغیر می‌باشند

باندهای خزش کنارگذر و دورزدن

- بیشتر فرودگاهها در مراحل اولیه دارای حجم ترافیک فرودگاهی کم بوده و در نتیجه بدون باند خزش موازی احداث میگردند. ممکن است همزمان با افزایش ترافیک نیاز به باند خزش موازی احساس گردد، گرچه بیشتر اوقات تامین آن از نقطه نظر اقتصادی امکان پذیر نیست.
- بنابراین بعضی مواقع یک محل دورزدن یا کنار گذر که کار محوطه انتظار را نیز انجام میدهد، جایگزین باند خزش موازی میگردد. در چنین وضعیتی باند پرواز نیز برخی مواقع بعنوان باند خزش مورد استفاده قرار میگیرد. این وضعیت در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

باندهای خزش کنارگذر و دورزدن



پایان