اصول مهندسی فرودگاه

موضوع درس #۴

طراحی باند پرواز

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

تعیین جهت باند پرواز

- جهت باند پرواز در جهت وزش بادهای غالب انتخاب میگردد.
- **سرباد** (The Head Wind) به جهت بادی که متضاد با جهت نشست یا برخاست هواپیما میباد میگویند و این باد نیروی بالابری بال ها را هنگام برخاست هواپیما زیادتر مینماید.
  - در چنین وضعیتی هواپیما سریع تر از روی باند بلند شده و جهت این برخاستن به طول کوتاه تری از باند نیاز دارد.
  - در هنگام فرود، سرباد به عنوان ترمز برای هواپیما عمل کرده که نتیجتاً هواپیما در طول کمتری از باند متوقف خواهد شد.
  - در صورتیکه نشست و برخاست در امتداد جهت باند انجام پذیرد نیاز به باند طویلتری خواهد بود.

تعیین جهت باند پرواز

- مؤلفه عرضی باد (Crosswind Component) و پوشش باد(Wind Coverage)
  - معمولاً یافتن جهت باد بطوریکه در تمام مدت سال در امتداد خط محور باند پرواز باشد، امکان پذیر نیست. در بعضی از روزهای سال و یا ساعات روز، وزش باد ممکن است با زاویه ای نسبت به خط محور باند پرواز انجام پذیرد.
  - اگر جهت باد با سرعت V دارای زاویه ای با خط محور باند پرواز برابر θ باشد، مؤلفه آن در امتداد باند پرواز برابر با $V\cos\theta$ و مؤلفه عمود بر خط محور باند پرواز برابر $V\sin\theta$ خواهد بود.
  - مؤلفه عمودی باد را بنام **مؤلفه عرضی باد** میگویند که ممکن است امنیت نشست و برخاست را به مخاطره اندازد.

تعیین جهت باند پرواز

- مؤلفه عرضی باد (Crosswind Component) و پوشش باد (Wind Coverage)
  - حداکثر مجاز مؤلفه عرضی باد بستگی به اندازه هواپیما و شکل بال آن دارد.
    - آژانس هوانوردی فدرال FAA توصیه مینماید که برای هواپیماهای کوچک مؤلفه عرضی باد نباید از ۱۵ کیلومتر بر ساعت و برای ترافیک مخلوط نباید از ۲۵ کیلومتر بر ساعت تجاوز نماید.
    - در فرودگاههایی که هواپیماهای بزرگ رفت و آمد میکنند، موسسه ICAO (سازمان بین المللی هوانوری کشوری) توصیه مینماید که مؤلفه عرضی باد نباید از ۳۵ کیلومتر بر ساعت تجاوز نماید.

تعیین جهت باند پرواز

- مؤلفه عرضی باد (Crosswind Component) و پوشش باد(Wind Coverage)
  - درصدی از زمان سال که مؤلفه عرضی باد در محدوده تعیین شده فوق قرار میگیرد، بنام پوشش باد نامیده میشود.
  - بر طبق توصیه آژانس هوانوردی فدرال FAA باند پروازی که به ترافیک مخلوط سرویس میدهد باید طوری طراحی گردد که ۹۵ درصد از زمان سال، مؤلفه عرضی مجاز باد در آن از ۲۵ کیلومتر بر ساعت تجاوز نکند. برای فرودگاههای شلوغ، پوشش باد ممکن است تا حدود ۹۸ تا ۱۰۰ درصد افزایش یاد.

تعیین جهت باند پرواز

گلباد Wind Rose

- اطلاعات آماری باد از قبیل جهت، مدت، و شدت را میتوان به صورت ترسیمی بوسیله شکلی که بنام **گلباد** نامیده میشود، نمایش داد.
- اطلاعات آماری باد باید حداقل در یک دوره برگشت ۵ ساله و ترجیحاً ۱۰ ساله جمع آوری گردد، حتی الامکان این مشاهدات باید از محل یا نزدیک محل انتخاب شده، جمع آوری گردد زیرا وضعیت باد ممکن است در نقاط مختلف متغیر باشد.
- بعضی مواقع ممکن است اطلاعات آماری باد یک منطقه بخصوص موجود نباشد، در چنین وضعیتی باید از اطلاعات ثبت شده در دو یا چند ایستگاه نزدیک، جهت تعیین خصوصیات باد محل مورد نظر استفاده گردد.
  - باید توجه داشت در صورتیکه بین منطقه و ایستگاههای کمکی رشته کوهی موجود باشد، استفاده از روش فوق صحیح بنظر نمیرسد. در چنین حالتی باید اطلاعات مورد نیاز، از محل اصلی حداقل بمدت یکسال ثبت گردد و این نتایج باید برای تفسیر اطلاعات آماری ایستگاه های مجاور که میخواهد برای محل مورد نظر بکار برده شوند مورد استفاده قرار گیرد.

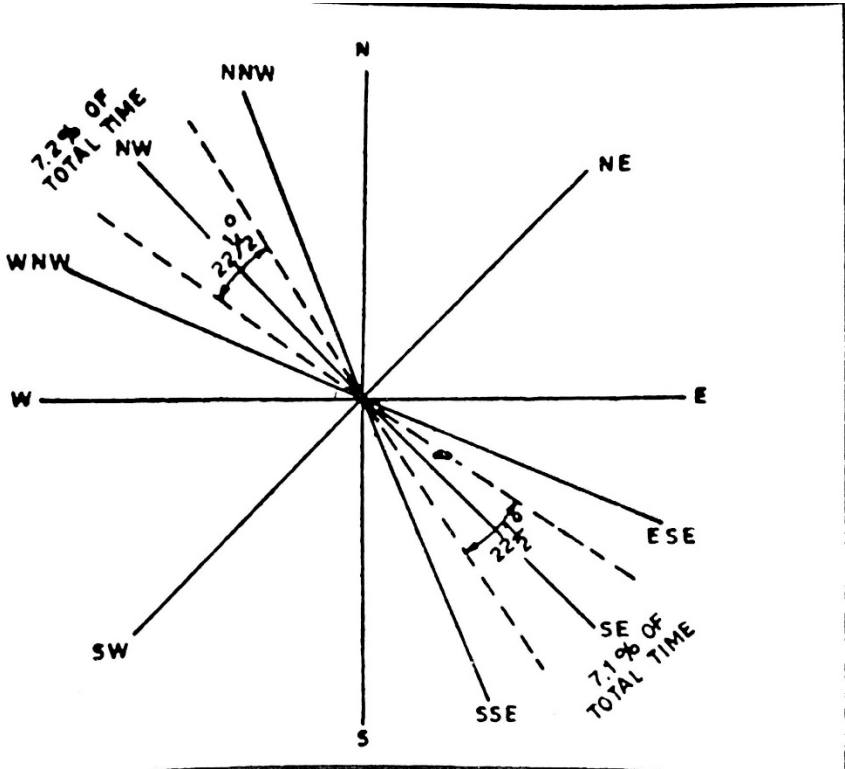
تعیین جهت باند پرواز

گلباد

یک نمونه از اطلاعات آماری وزش باد

جهت وزش باد	** درصد وزش باد در این جهت			مجموع درصدهای وزش باد در این جهت
	6.4—25 kph	25—40 kph	40—60 kph	
N	7.4	2.7	0.2	10.3
NNE	5.7	2.1	0.3	8.1
NE	2.4	0.9	0.6	3.9
ENE	1.2	0.4	0.2	1.8
E	0.8	0.2	0.0	1.0
ESE	0.3	0.1	0.0	0.4
SE	4.3	2.8	0.0	7.1
SSE	5.5	3.2	0.0	8.7
S	9.7	4.6	0.0	14.3
SSW	6.3	3.2	0.5	10.0
SW	3.6	1.8	0.3	5.7
WSW	1.0	0.5	0.1	1.6
W	0.4	0.1	0.0	0.5
WNW	0.2	0.1	0.0	0.3
NW	5 3	1.9	0.0	7.2
NNW	4.0	1 ۳	0.3	5.6

دوره‌ٔ برگشت ۸ ساله . ** درصد زمانی که شدت باد کمتر از ۶/۴ کیلومتر در ساعت
ابر است با : ۱۳/۵% = ۸۶/۵ – ۱۰۰ این زمان بعلت شدت کم وزش باد ، تأثیری بسر
، و برخاست هواپیما ندارد و آنرا بنام زمان آرام می‌نامند .

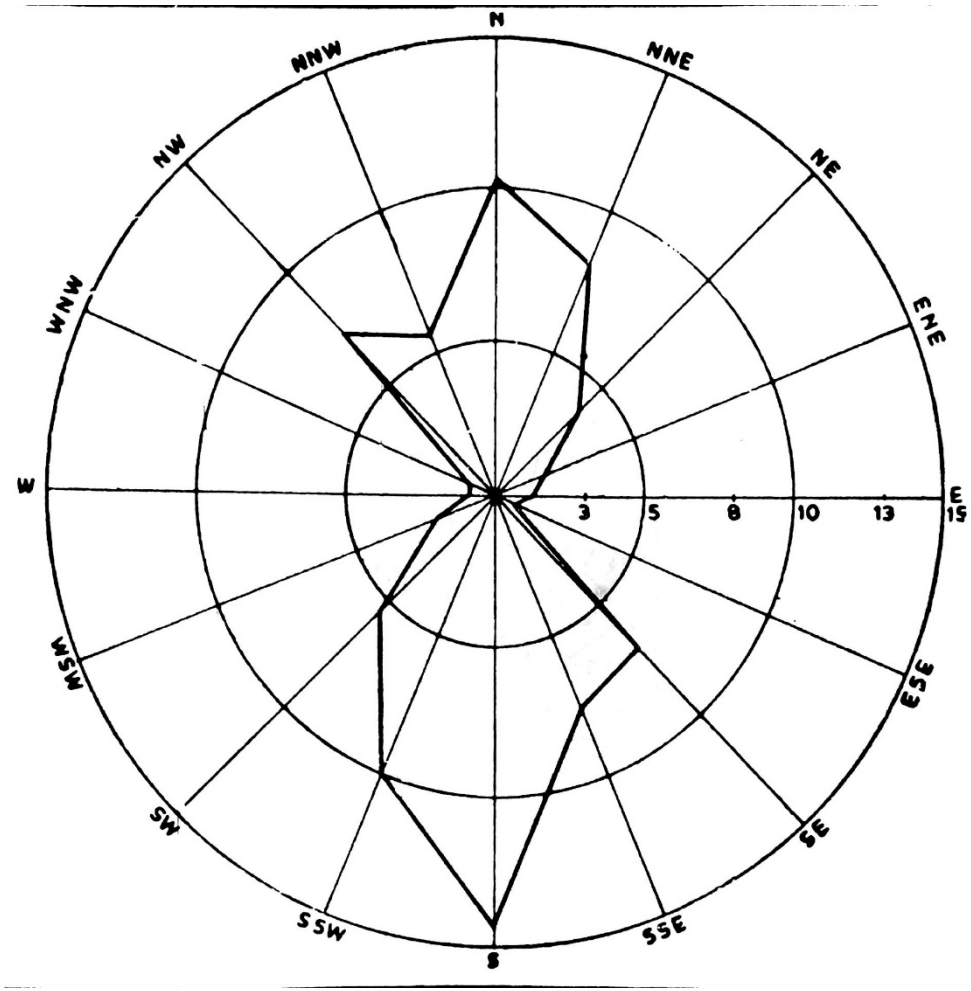


تعیین جهت باند پرواز

گلباد

- دیاگرام گلباد را میتوان با استفاده از اطلاعات آماری جدول فوق ترسیم نمود که ضمن کمک به تجزیه و تحلیل خصوصیات وزش باد، مناسبترین جهت باند پرواز نیز بدست می آید.
- دیاگرام گلباد را میتوان به یکی از انواع زیر رسم نمود
  - نوع A : نشان دادن جهت و مدت باد
  - نوع B : نشان دادن جهت، مدت و شدت باد
- گلباد نوع A
  - خطوط شعاعی جهت، و دوایر شدت باد را نشان میدهد.
  - اطلاعات جدول داده شده، در نمونه دیاگرام گلباد نوع A در صفحه بعد نمایش داده شده است

تعیین جهت باند پرواز



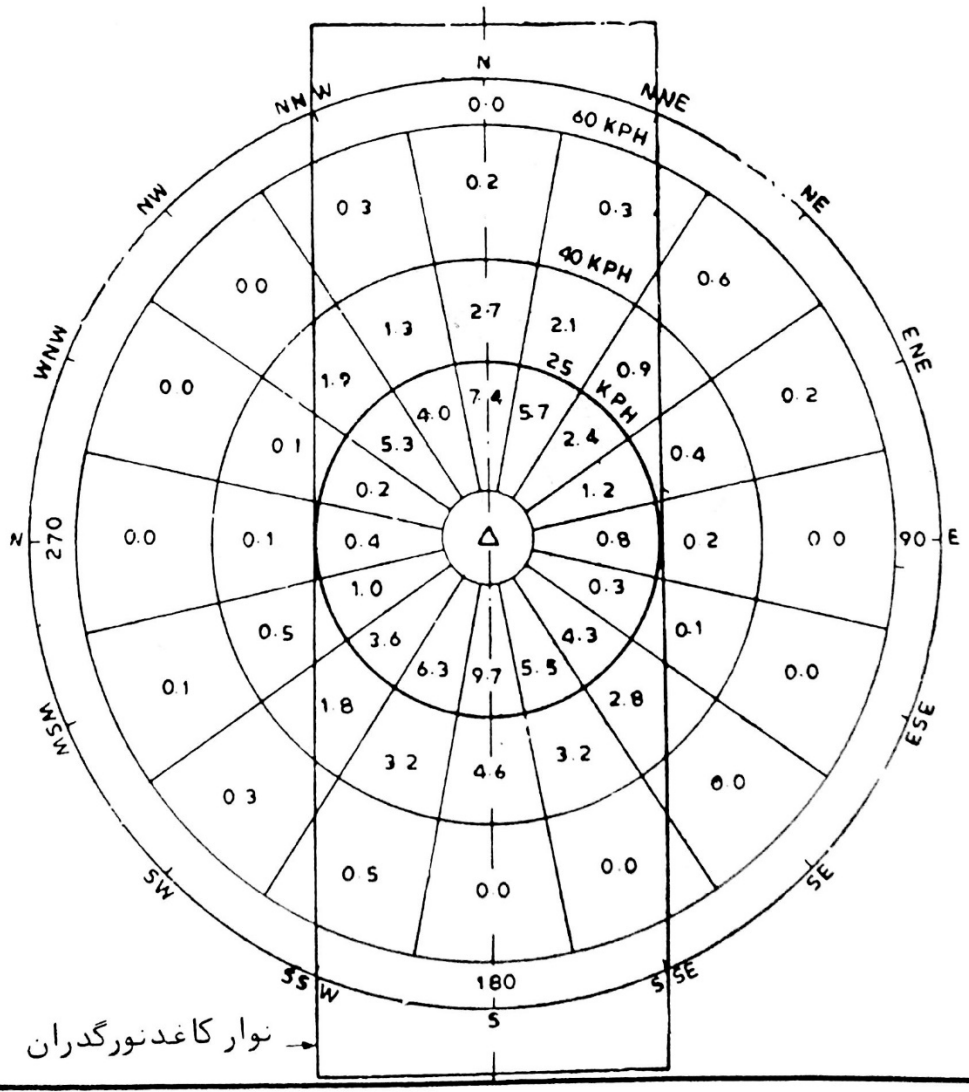
گلباد نوع A (ادامه)

- با استفاده از جدول مشاهده میشود که زمان کل وزش باد در جهت شمال ۱۰/۳ درصد اوقات سال میباشد. این مقدار در امتداد جهت شمال ترسیم شده است.
- به طریق مشابه سایر مقادیر جدول در جهات مختلف ترسیم شده و سپس تمام نقاط ترسیم شده بوسیله خطوط مستقیم به یکدیگر وصل میشوند.
- بهترین جهت باند پرواز معمولاً در راستای طویلترین امتداد دیاگرام گلباد قرار دارد.

تعیین جهت باند پرواز

- گلباد نوع A (ادامه)
  - در شکل گلباد فوق، بهترین جهت قرار گرفتن باند فرودگاه، در امتداد راستای شمال-جنوب میباشد. میزان مجاز زاویه انحراف جهت باد نسبت به جهت فرود و برخاست برابر ۱۱/۲۵+۲۲/۵ درجه میباشد.
  - درصدی از زمان سال که میتوان باند پرواز را بدون خطر جهت نشست و برخاست مورد استفاده قرار داد، بوسیله جمع کردن درصدهای زمان در امتداد S, SSE, NNE, N, NNW و SSW بدست می آید. در مثال فوق این مقدار برابر ۵۷ درصد میباشد.
  - **مدت آرام** عبارت است از درصد زمانی از سال که شدت باد کمتر از ۶/۴ کیلومتر بر ساعت میباشد. این میزان باید به درصد بدون خطر فوق افزوده شود. پس کل درصد زمان بدون خطر برابر ۵۷+۱۳/۵=۷۰/۵
  - در این نوع گلباد تاثیر مؤلفه عرضی باد دخالت داده نمیشود.

تعیین جهت باند پرواز

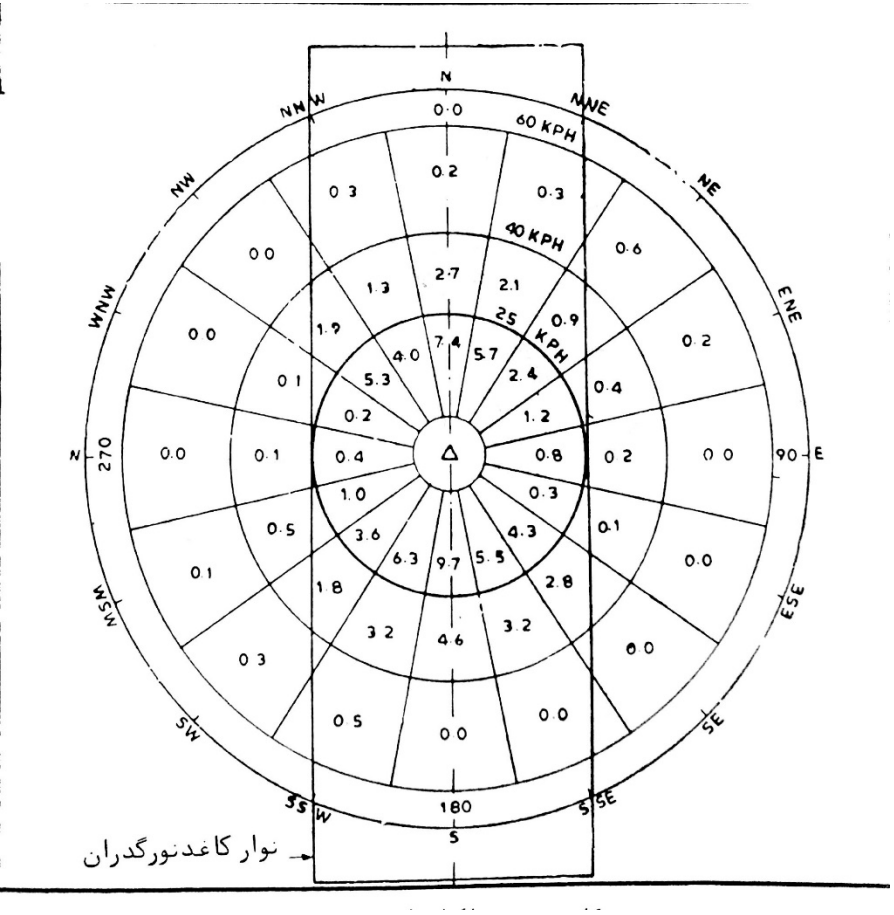


- گلباد نوع B
  - اطلاعات آماری جدول فوق در این نمونه مورد استفاده قرار گرفته است.
  - هر دایره نمودار شدت باد با مقیاس معین میباشد.
  - مقادیری که در هر قطعه نوشته شده نمودار درصدی از زمان سال میباشد که باد با شدت بخصوص در جهت مربوطه وزیده است.

تعیین جهت باند پرواز

گلباد نوع B (ادامه)

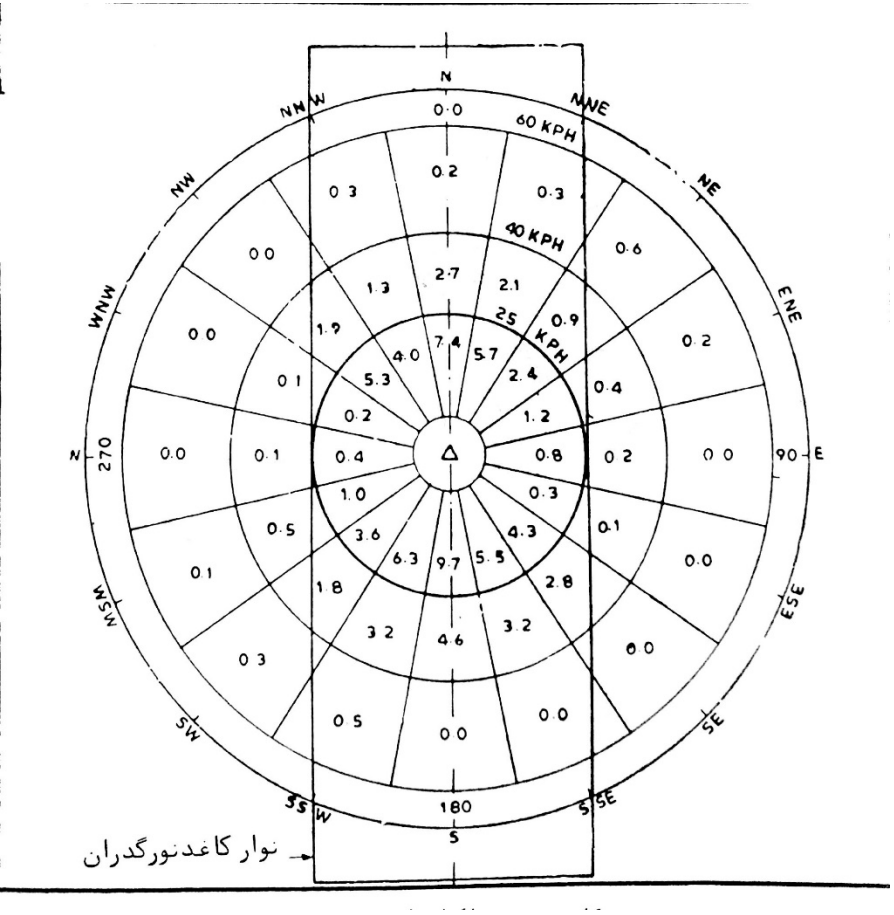
- روش تعیین جهت باند فرودگاه با استفاده از این نوع گلباد به صورت زیر میباشد
  - قطعه کاغذ نور گذرانی گرفته شده و بر روی آن سه خط موازی بفواصل مساوی با مؤلفه عرضی مجاز باد رسم میگردد. سپس این کاغذ از روی خط اول و سوم بریده شده و به صورت یک نوار در میآید. باید توجه داشت که مقیاس فاصله بین خطوط باید ب مقیاس دیاگرام گلباد برابر باشد. در شکل نمونه، نوار نورگذران با مؤلفه عرضی مجاز باد برابر با ۲۵ کیلومتر در ساعت نشان داده شده است.



تعیین جهت باند پرواز

گلباد نوع B (ادامه)

- روش تعیین جهت باند فرودگاه با استفاده از این نوع گلباد به صورت زیر میباشد
  - نوار کاغذ نورگذران را بر روی دیاگرام گلباد به طریقی قرار میدهند که خط وسط نوار از مرکز دیاگرام عبور نماید.
  - نوار نورگذران حول مرکز دایره چرخانده میشود و در وضعیتی قرار داده میشود که مجموع اعداد نمودار مدت باد که بین دو ضلع نوار قرار میگیرند حداکثر باشد و در این وضعیت باند پرواز باید در امتداد جهت محور نوار نورگذران قرار گیرد.



تعیین جهت باند پرواز

- گلباد نوع B (ادامه)
  - روش تعیین جهت باند فرودگاه با استفاده از این نوع گلباد به صورت زیر میباشد (ادامه)
    - از جمع تمام درصدهایی که در هر خانه زیر نوار نورگذران وجود دارد پوشش باد را میتوان محاسبه نمود.
    - فرض بر این است که مقدار درصد هر خانه به صورت مساوی در تمام سطح آن خانه توزیع گردیده است. هنگامیکه ضلع نوار نورگذران از داخل یک خانه عبور مینماید، قسمتی از آن خانه که زیر نوار قرار دارد مقدارش نسبت به کل سطح تعیین میگردد که این عمل بوسیله قضاوت مهندسی انجام می پذیرد.
    - $13.5(\text{مدت آرام}) + 7.4 + 5.7 + 2.4 + 1.2 + 0.8 + 0.3 + 4.3 + 5.5 + 9.7 + 6.3 + 3.6 + 1.0 + 0.4 + 0.2 + 5.3 + 4.0 + 2.7 + 2.1 + 0.5 + 0.1 + 0.03 + 2.1 + 3.2 + 4.6 + 3.2 + 1.13 + 0.3 + 0.02 + 1.5 + 1.3 + 0.2 + 0.2 + 0.0 + 0.3 + 0.25 = 96.5$

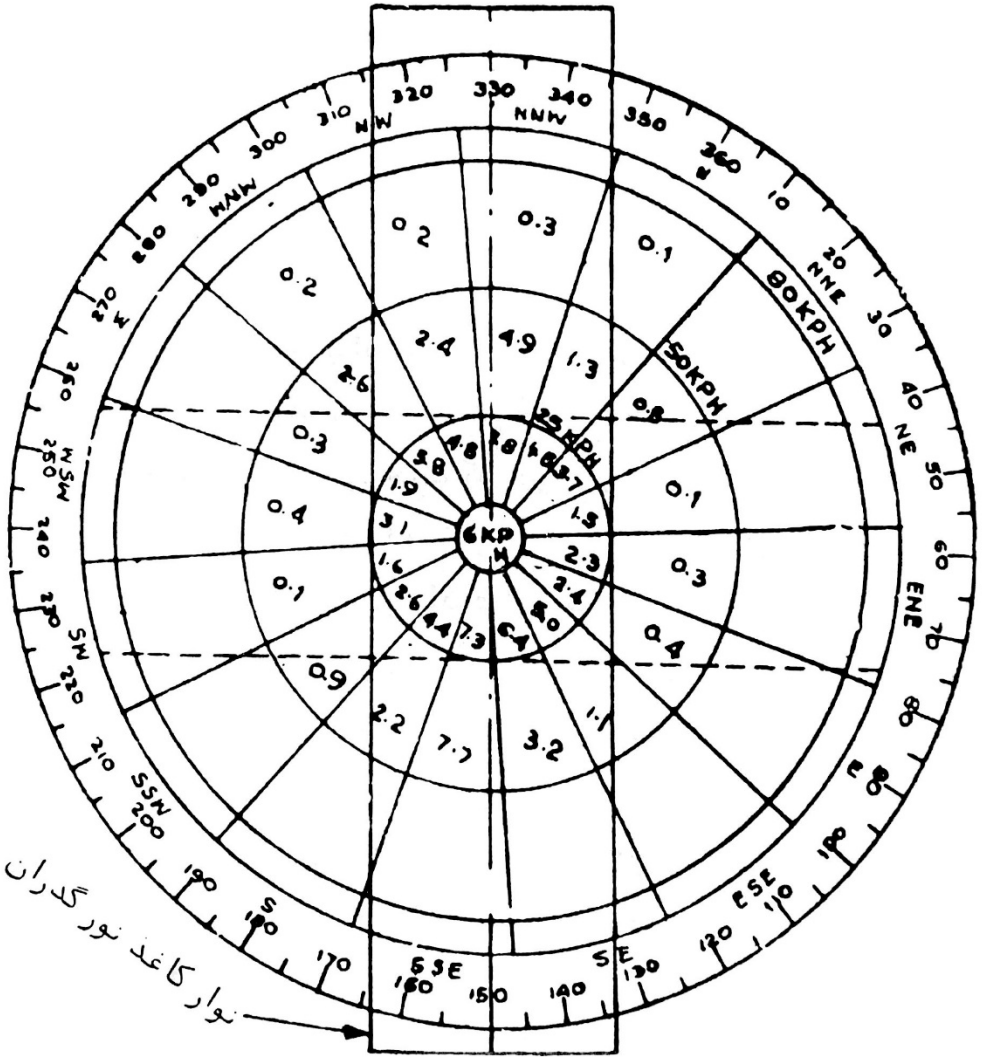
تعیین جهت باند پرواز

گلباد نوع B (ادامه)

- زاویه میل (Bearing) باند پرواز با اندازه گیری زاویه بین محور نوار نورگذران و جهات جغرافیایی منعکس بر روی بزرگترین دایره گلباد تعیین میشود. در شکل فوق چون خط محور نور گذران از امتداد شمال-جنوب میگذرد، زاویه میل باند پرواز نسبت به شمال و جنوب برابر صفر بوده یعنی باند دقیقاً در امتداد محور شمال و جنوب واقع است.
- در صورتیکه پوشش تهیه شده توسط یک باند پرواز منفرد کافی نباشد، از دو و یا چند باند پرواز طوری استفاده می گردد که مجموع پوشش تامین شده توسط آنها برابر پوشش مورد نیاز باشد.

تعیین جهت باند پرواز

- مثال: دیاگرام گلبادی در شکل روبرو نمایش داده شده است. مؤلفه عرضی مجاز باد برابر با ۲۵ کیلومتر در ساعت میباشد. مطلوبست تعیین مدت آرام، بهترین جهت باند پرواز و پوشش باد. درصورتیکه باند پرواز دیگری عمود بر باند پرواز فوق در نظر گرفته شود، کل پوشش باد را در اینحالت تعیین کنید.



تعیین جهت باند پرواز

- حل
- با توجه به شکل، مدت آرام عبارت است از درصد زمانی که در آن شدت باد کمتر از ۶ کیلومتر بر ساعت میباشد. خواهیم داشت:

مدت آرام = ۱۰۰ - (۷/۸ + ۴/۸ + ۳/۷ + ۱/۵ + ۲/۳ + ۲/۴
+ ۵/۸ + ۱/۹ + ۳/۱ + ۱/۶ + ۲/۶ + ۴/۴ + ۷/۳ + ۶/۴ + ۵/۰ +
+ ۷/۷ + ۳/۲ + ۱/۱ + ۰/۴ + ۰/۳ + ۰/۱ + ۰/۸ + ۱/۳ + ۴/۹ + ۴/۸ +
+ ۰/۲ + ۰/۱ + ۰/۳ + ۲/۴ + ۳/۶ + ۰/۳ + ۰/۴ + ۰/۱ + ۰/۹ + ۲/۲ +
+ ۰/۲) = ۵/۱ درصد

تعیین جهت باند پرواز

- حل (ادامه)
- باند پرواز در امتداد ۳۳۰°-۱۵۰° یا (S30° E) دارای حداکثر پوشش بوده و بوسیله جمع مقادیر بین دو ضلع موازی نوار گذران تعیین میگردد.

جهت	درصد بین دو ضلع موازی نوار نور گذران	جهت	درصد بین دو ضلع موازی نوار نور گذران
N	5.67	S	6.00
NNE	3.85	SSW	2.62
NE	1.50	SW	1.60
ENE	2.30	WSW	3.10
E	2.40	W	1.95
ESE	5.80	WNW	7.10
SE	9.60	NW	7.35
SSE	15.00	NNW	13.00

تعیین درصد بین دو ضلع نوار نورگذران

مجموع درصدهای جدول = ۸۹/۰۴
مدت آرام = ۵/۱۰ درصد
پوشش لازم باد = ۹۴/۱۴ درصد

تعیین جهت باند پرواز

- حل (ادامه)
- جهت کنترل درصد فوق میتوان مجموع مقادیر خانه های خارج دو ضلع موازی نوار نورگذران را حساب نموده و سپس آنرا از ۱۰۰ کم کرد.

جهت	درصد خارج دوضلع موازی نوار نور گذران	جهت	درصد خارج دوضلع موازی نوار نور گذران
N	0.38	S	0.44
NNE	0.60	SSW	0.75
NE	0.10	SW	0.10
ENE	0.30	WSW	0.40
E	0.32	W	0.25
ESE	0.30	WNW	1.50
SE	0.00	NW	0.05
SSE	0.00	NNW	0.00

مجموع درصد خارج دو ضلع موازی نوار نورگذران

مجموع درصدهای جدول = ۵/۴۹

پوشش لازم باد = ۱۰۰-۵/۴۹

= ۹۴/۵۱ درصد

تعیین جهت باند پرواز

- حل (ادامه)
- اگر باند پرواز دیگری با زاویه ۹۰ درجه نسبت به باند پرواز اولی قرار گیرد، مقدار دیگری پوشش باد با این پوشش به صورت زیر جمع میگردد

درصد ۲۰۱۳ = ۰/۲۰ + ۰/۳۰ + ۰/۱۰ + ۰/۴۰ + ۰/۴۲ + ۰/۱۰ + ۰/۴۰ + ۰/۲۱

کل پوشش باد = ۹۴/۵۱ + ۲/۱۳ = ۹۶/۶۴ درصد

تعیین جهت باند پرواز

- تغییر در جهت باند پرواز
  - ممکن است همیشه قرار گرفتن باند پرواز به طور کامل در جهت تعیین شده توسط گلباد امکان پذیر نباشد. تعدیل جزئی بعلت دلائل زیر در جهت تعیین شده الزامی است
    - موانع : برای پیاده کردن باند پرواز، موجود نبودن موانع مهمتر از مؤلفه عرضی مجاز باند میباشد. در چنین وضعیتی تامین منطقه فرود با مانع کمتر نسبت به منطقه با پوشش باد بیشتر رجحان دارد
    - شیب زیاد: جهت باند پرواز ممکن است بعلت شیب زیاد و عملیات خاکی تعدیل گردد، حتی اگر باند تعدیل نشده، مواجه با فرود بی خطر و پوشش باد مناسب باشد
    - آزار سر و صدا: در صورتیکه باند پرواز در امتداد مناطق مسکونی و مناطق عمومی طوری واقع باشد که این مناطق در محدوده برخاست هواپیماها واقع گردند، تعدیل جهت باند پرواز در صورت پایین بودن شدت باد مناسب میباشد.

طول پایه باند پرواز

- طول پایه باند پرواز بر اساس فرضیات زیر تعیین میگردد
  - ارتفاع فرودگاه در سطح دریا واقع است
  - درجه حرارت فرودگاه برابر مقدار استاندارد (۱۵ درجه سانتیگراد) میباشد
  - باند پرواز در جهت طولی مسطح میباشد
  - در باند پرواز هیچگونه وزش بادی وجود ندارد
  - هواپیما با ظرفیت کامل، بارگیری شده است
  - در طول مسیر هوائی هیچگونه وزش باد صورت نمیگیرد
  - درجه حرارت مسیر هوائی استاندارد میباشد

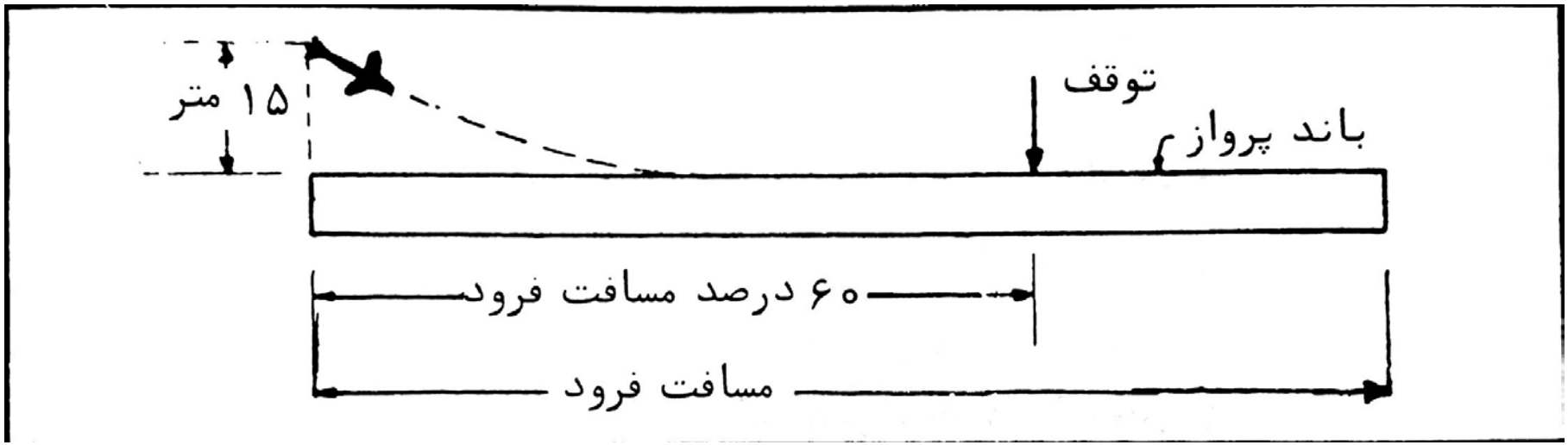
طول پایه باند پرواز

- طول پایه باند پرواز توسط خصوصیات عملکرد هواپیماهائی که از فرودگاه استفاده مینمایند تعیین میگردد.
- حالات زیر مورد بررسی قرار میگیرند
  - حالت فرود طبیعی
  - حالت برخاست طبیعی
  - حالت خرابی موتور
- برای هواپیماهای جت هر سه حالت ذکر شده فوق باید مورد بررسی قرار گیرند. برای هواپیماهای موتور پیستونی فقط حالت اول و سوم مورد بررسی واقع میشوند.
- پس از بررسی هر سه حالت، نتیجه هرکدام که طویل ترین باند پرواز را ایجاب نماید، به عنوان طول پایه باند پرواز انتخاب میشود.

طول پایه باند پرواز

حالت فرود طبیعی

- در حالت فرود طبیعی لازم است که هواپیما در بین ۶۰ درصد مسافت فرود به حالت توقف در آید. روسازی باند پرواز با مقاومت کامل باید در تمام طول مسافت فرود احداث گردد.



حالت فرود طبیعی

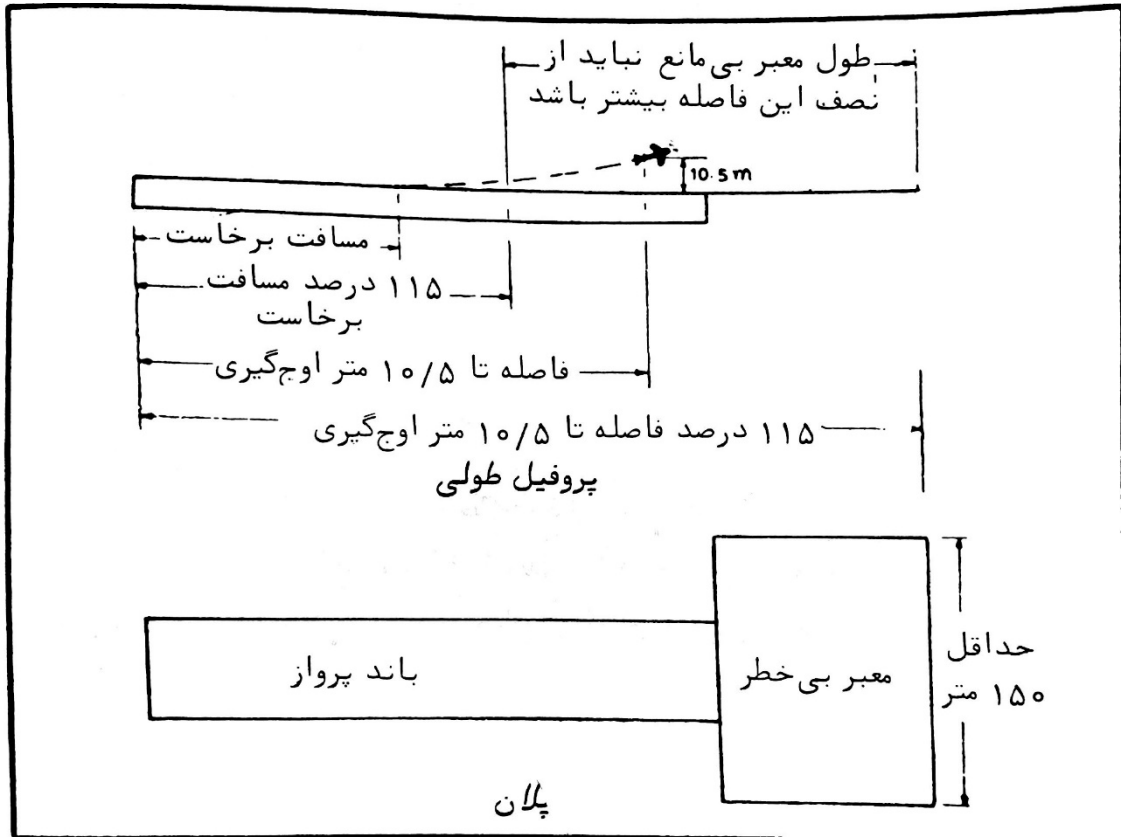
طول پایه باند پرواز

حالت برخاست طبیعی Normal take-off case

- در حالت برخاست طبیعی نیاز به یک معبر بی مانع (Clearway) وجود دارد که این معبر عبارت از سطحی است که بعد از باند پرواز و در امتداد خط محور باند پرواز قرار گرفته است.
- عرض معبر بی مانع نباید کمتر از ۱۵۰ متر بوده و همچنین باید عاری از هرگونه مانعتی نگهداشته شود. سطح زمین معبر بی مانع یا هر شیئی که در آن قرار گرفته باشد نباید باعث گردد که هواپیما اجباراً با شیبی بیش از ۱/۲۵ درصد از انتهای باند پرواز بلند شود.

طول پایه باند پرواز

- حالت برخاست طبیعی Normal take-off case (ادامه)



حالت طبیعی برخاست

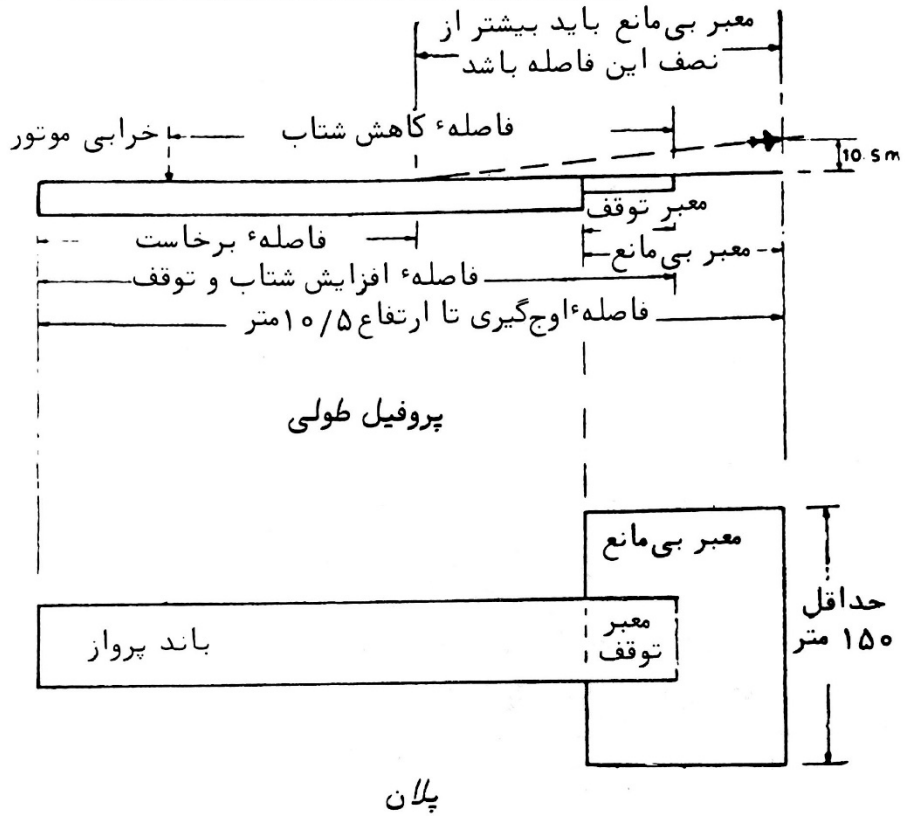
طول پایه باند پرواز

حالت خرابی موتور Engine Failure Case

- در حالت خرابی موتور ممکن است به معبر بی خطر یا معبر توقف یا هر دو معبر نیاز باشد.
- معبر توقف عبارت از سطحی است بعد از باند پرواز و هم محور با آن و در داخل معبر بی خطر که برای کاهش شتاب هواپیما و رساندن آن به توقف کامل در هنگام برخاست ناموفق مورد استفاده قرار میگیرد.
- روسازی معبر توقف باید بحد کافی مقاوم بوده و بتواند وزن هواپیما را بدون صدمه رساندن به هواپیما تحمل نماید.
  - اگر موتور در سرعتی کمتر از سرعت معین در حالت خرابی موتور از کار افتد، خلبان، سرعت هواپیما را کاهش خواهد داد و معبر توقف مورد استفاده قرار خواهد گرفت.
  - اگر موتور در سرعتی بیشتر از سرعت معین در حالت خرابی موتور از کار افتد، راهی بجز ادامه برخاست برای خلبان باقی نخواهد ماند و خلبان ممکن است بعداً دور زده (درمنطقه دور زدن) و مجدداً برای یک برخاست طبیعی فرود آید.

طول پایه باند پرواز

حالت خرابی موتور (ادامه)



* هنگامیکه معبر بی‌خطر موجود می‌باشد ، سطح تقرب باید از انتهای معبر بی‌خطر شروع شود .

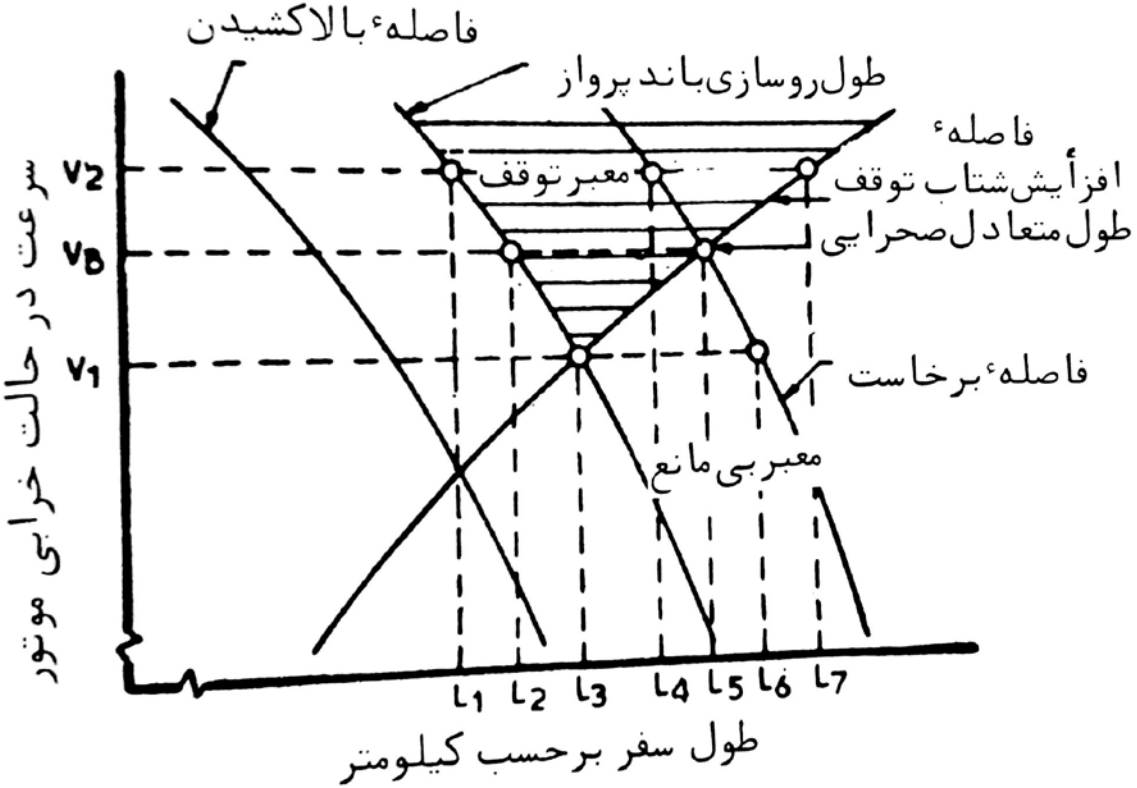
* * اگر معبر توقف طویل‌تر از معبر بی‌مانع باشد ، سطح تقرب از ۶۰ متر بعد از معبر توقف شروع خواهد شد .

طول پایه باند پرواز

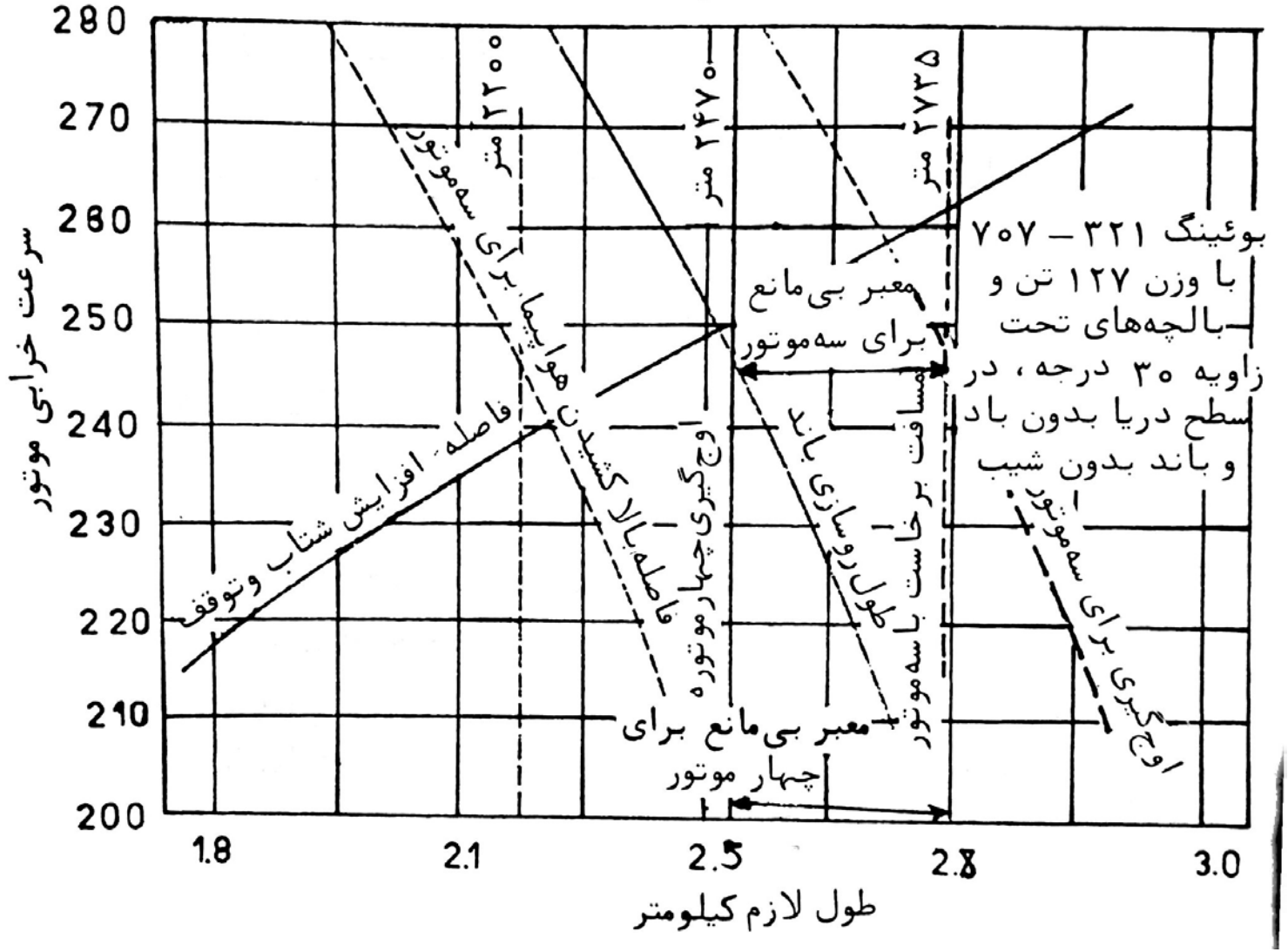
- برای هواپیماهای موتور پیستونی، روسازی باند پرواز با مقاومت کامل باید در تمام طول مسافت برخاست و مسافت شتاب-توقف احداث گردد. بدین لحاظ سرعت معین در حالت خرابی موتور برای هواپیماهای نوع بالا بوسیله کرخانجات تولید کننده به گونه ای انتخاب میشود که دو مسافت فوق با یکدیگر مساوی باشند.
  - طول پایه باند پرواز بدست آمده بر اساس این ایده (ایده متعادل صحرائی) را بنام طول **متعادل باند پرواز** (Balanced Runway Length) مینامند.
- در هواپیماهای جت، خرابی موتور همانند حالت موتور پیستونی چندان معمول نیست. در نتیجه معبر توقف و معبر بی مانع نیازی به مقاومت کامل روسازی ندارند.

طول پایه باند پرواز

- با توجه به مباحث فوق، دانستن رابطه بین سرعت خرابی موتور، طول باند پرواز، معبر توقف و معبر بی مانع لازم بوده که در شکلهای زیر نمایش داده شده است.



طول پایه باند پرواز



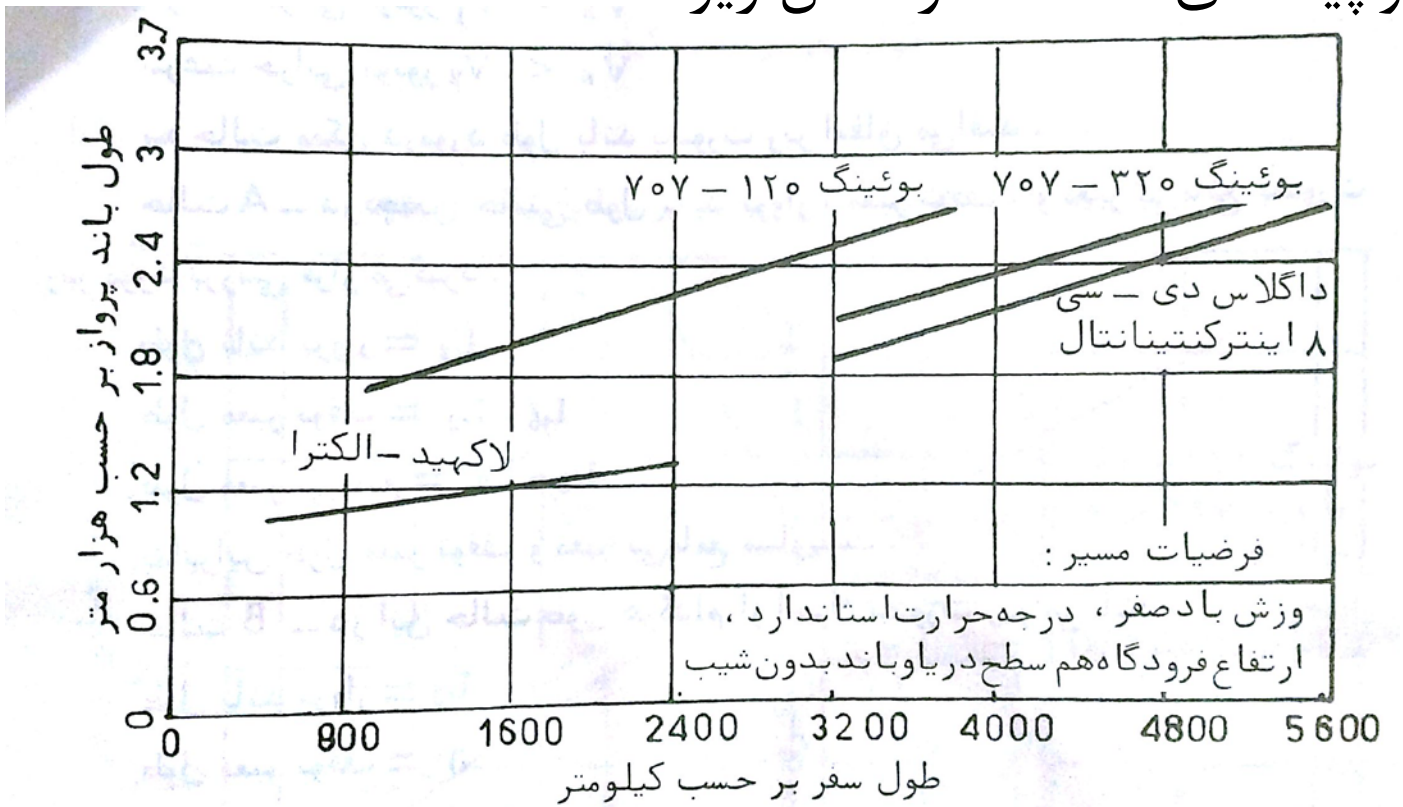
طول پایه باند پرواز

- طولهای پایه باند فرودگاه توصیه شده توسط ایکائو برای انواع مختلف فرودگاهها در جدول زیر داده شده است.

طبقه‌بندی فرودگاه	طول اساسی باند پرواز				عرض روسازی باند پرواز		حداکثر شیب طولی (درصد)
	حداکثر		حداقل				
	m	ft	m	ft	m	ft	
A			2100	7000	45	150	1.5
B	2099	6999	1500	5000	45	150	1.5
C	1490	4999	900	3000	30	100	1.5
D	899	2999	750	2500	22.5	75	2.0
E	749	2499	600	2000	18	60	2.0

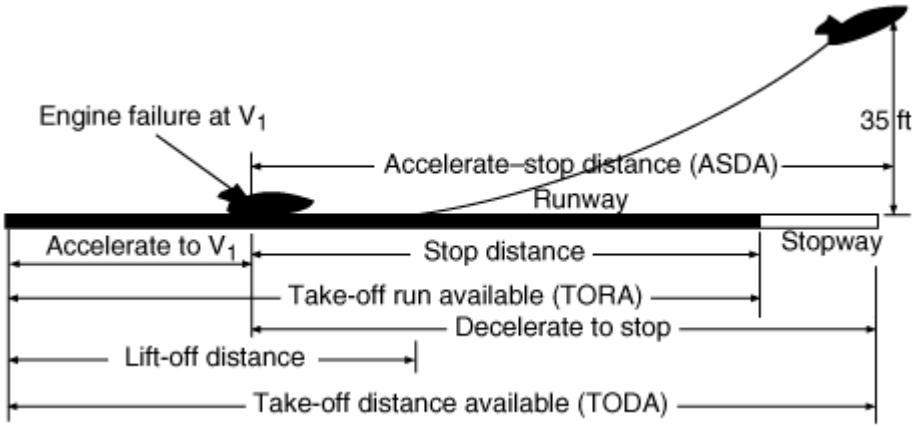
طول پایه باند پرواز

- روش دیگر تعیین طول باند پرواز استفاده از گراف های تهیه شده بوسیله کارخانجات سازنده میباشد. طول پایه باند پرواز برای تعدادی از هواپیماهای مختلف در شکل زیر داده شده است

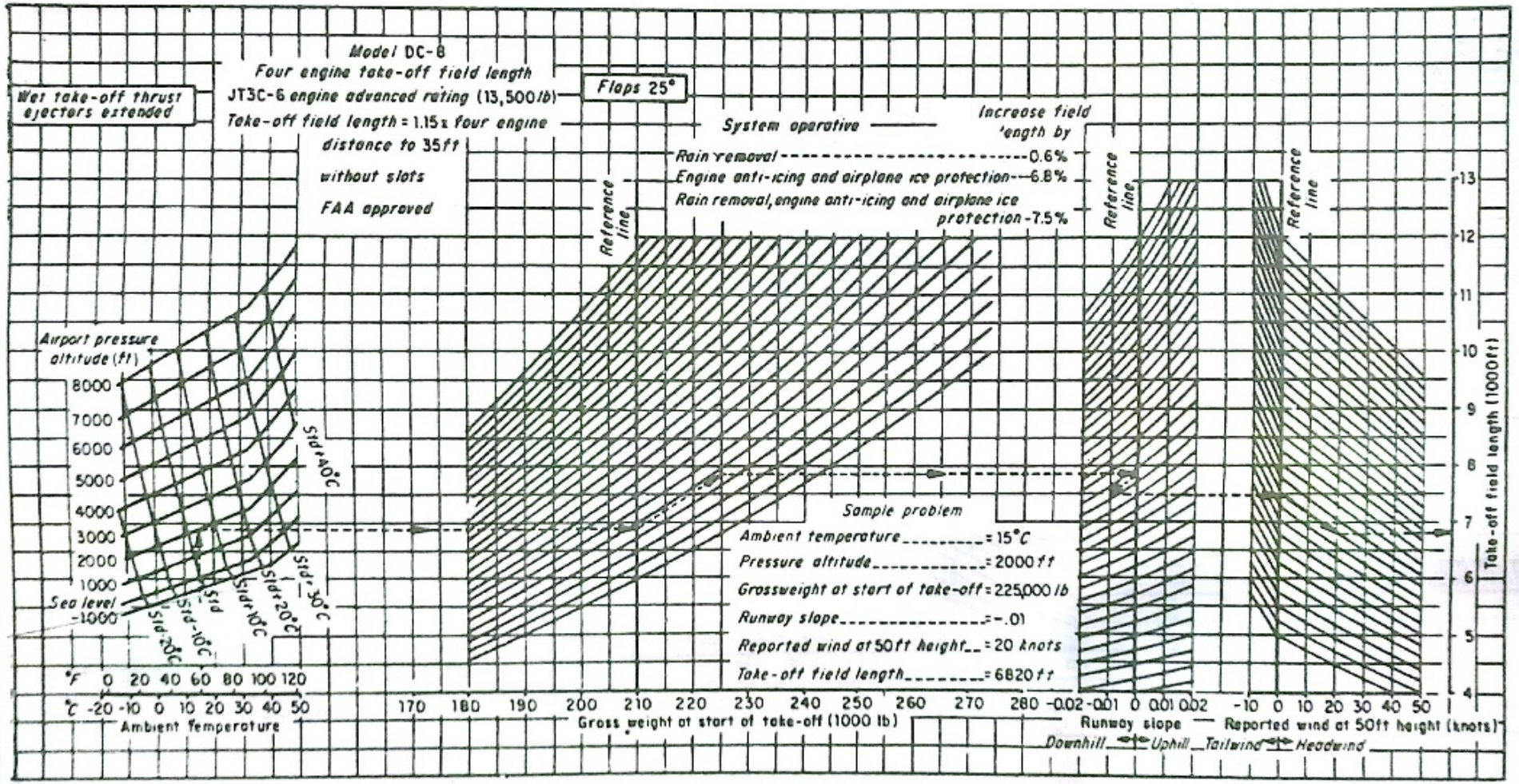


طول پایه باند پرواز

- نمونه ای از نمودار طول باند پرواز هواپیمای DC8 در ادامه آمده است. طول باند پرواز برای حالت خرابی موتور برابر طول متعادل صحرائی میباشد. برای حالت خرابی موتور، طول باند پرواز برابر فاصله ای است که هواپیما به ارتفاع ۳۵ فوت (۱۰,۵ متر) میرسد در صورتیکه حالت موتور کامل حدود ۱۱۵ درصد فاصله رسیدن هواپیما به ارتفاع ۳۵ فوت (۱۰/۵ متر) میباشد.

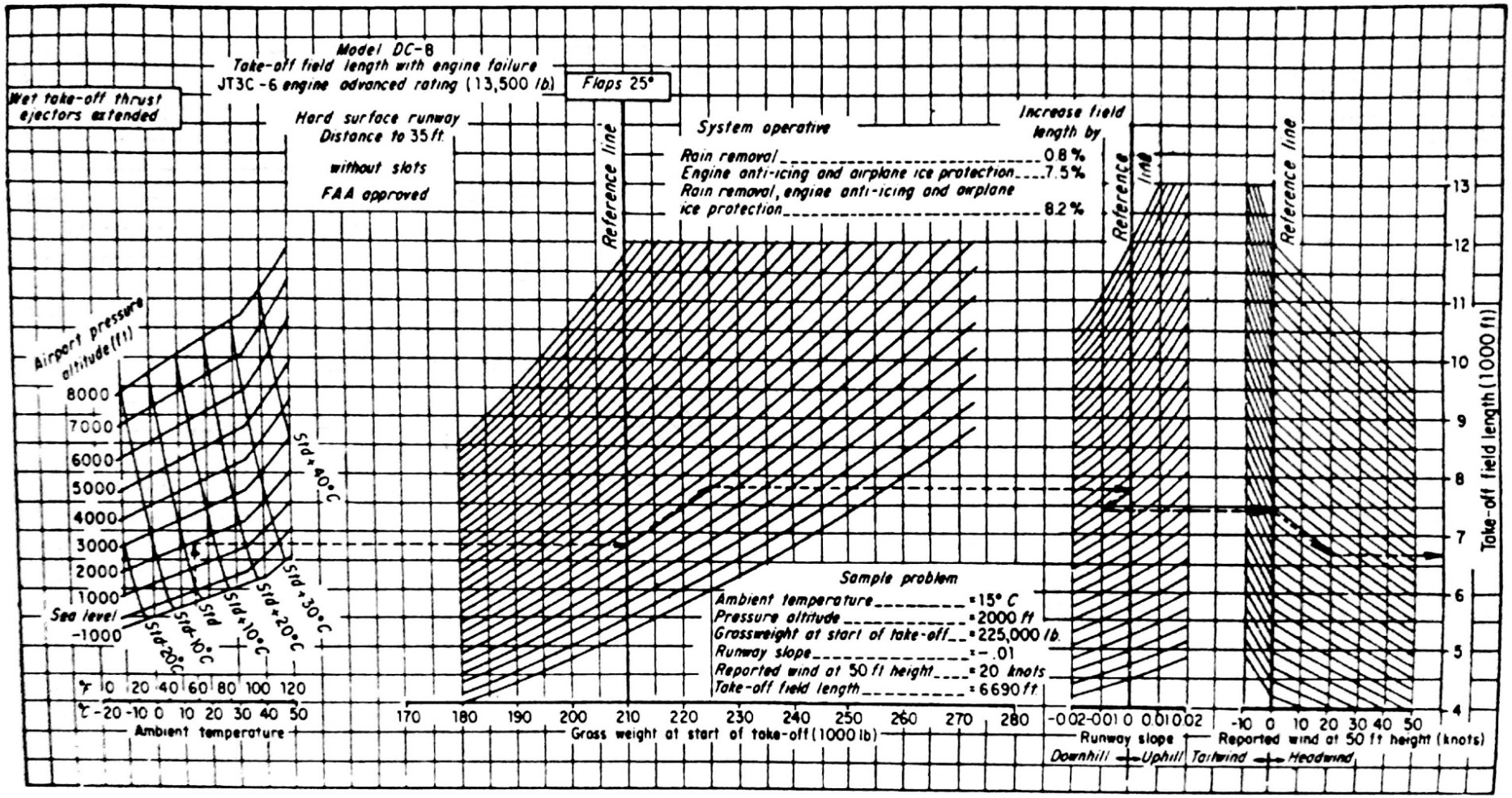


طول پایه باند پرواز



مسافت برخاست پرواز برای هواپیمای **DC8** بر اساس برخاست چهار موتور پیستونی

طول پایه باند پرواز



مسافت برخاست پرواز برای هواپیمای **DC8** بر اساس خرابی موتور

تصحیح طول باند پرواز

- طول پایه باند پرواز برای ارتفاع سطح دریا با وضعیت استاندارد جوی میباشد. بنابراین تصحیح های لازم در رابطه با هرگونه تغییر در ارتفاع، دما و شیب برای محل واقعی فرودگاه باید انجام شود.
  - تصحیح برای تغییر ارتفاع
    - با افزایش ارتفاع، چگالی هوا کاهش میابد. این پدیده به نوبه خود، باعث کاهش نیروی بالابر بالهای هواپیما گردیده و هواپیما به سرعت زیادتر زمینی قبل از بلند شدن نیاز خواهد داشت و برای رسیدن به سرعت بیشتر، به باند پرواز طولانی تری نیاز میباشد.
    - موسسه ایکائو توصیه مینماید که به ازاء هر ۳۰۰ متر افزایش ارتفاع از سطح دریا به میزان ۷ درصد به طول پایه باند پرواز اضافه گردد.

تصحیح طول باند پرواز

تصحیح برای تغییر درجه حرارت

- تاثیر افزایش درجه حرارت مرجع فرودگاه همانند تاثیر افزایش ارتفاع میباشد.
- درجه حرارت مرجع فرودگاه از رابطه زیر محاسبه میگردد
  - درجه حرارت مرجع فرودگاه $= T_a + \frac{T_m - T_a}{3}$
  - T_a میانگین ماهیانه درجه حرارت متوسط روزانه برای گرمترین ماه سال
  - T_m میانگین ماهیانه حداکثر درجه حرارت روزانه برای ماه مشابه از سال
- جهت انجام تصحیح برای تغییر درجه حرارت مطابقه توصیه ایکائو باید به روش زیر عمل نمود
  - درجه حرارت استاندارد جوی برابر ۱۵ درجه سانتیگراد منظور میشود
  - درجه حرارت مرجع فرودگاه محاسبه میشود
  - افزایش درجه حرارت مرجع فرودگاه نسبت به درجه حرارت استاندارد تعیین میشود
  - به ازاء هر یک درجه افزایش فوق به میزان یک درصد به طول پایه تعدیل شده باند پرواز اضافه میشود
    - در حالت دقیقتر، اثر افزایش ارتفاع در میزان درجه حرارت استاندارد در نظر گرفته میشود بدین ترتیب که به ازا هر یک متر ارتفاع بالاتر از سطح دریا معادل ۰/۰۰۵۶ درجه سانتیگکراد از حرارت استاندارد جوی کسر میگردد.

تصحیح طول باند پرواز

- کنترل مجموع تصحیح ارتفاع و درجه حرارت
  - طبق توصیه موسسه ایکائو اگر مجموع تصحیح ارتفاع و درجه حرارت از ۳۵ درصد طول پایه باند فرودگاه تجاوز نماید، این تصحیحات باید با انجام مطالعات ویژه ای در محل و توسط آزمایشهای نمونه کنترل گردد.
- تصحیح برای تغییر شیب
  - شیب های تندتر باعث مصرف بیشتر انرژی میشوند در نتیجه باند فرودگاه طویل ترین جهت رسیدن هواپیما به سرعت زمینی مناسب لازم میباد.
  - موسسه ایکائو تصحیح بخصوصی را برای شیب طول توصیه نمیکند
  - طبق توصیه موسسه FAA(آژانس هوانوردی فدرال) بعد از اینکه طول باند پرواز برای ارتفاع و درجه حرارت تصحیح گردید باید به ازاء هر یک درصد شیب طول موثر، طول آن معادل ۲۰ درصد افزایش یابد.
    - شیب طول موثر از تقسیم اختلاف ارتفاع پست ترین و مرتفع ترین نقاط واقع بر روی باند پرواز بر طول کل باند پرواز بدست میآید.

مثال ۱

- اطلاعات آماری مربوط به درجه حرارت روزانه گرمترین ماه سال ۱۹۸۰ یک محل فرودگاه در جدول زیر داده شده است. مطلوبست محاسبه درجه حرارت مرجع فرودگاه.

- حل:

تاریخ	حرارت به درجهٔ سانتیگراد حداکثر	حرارت به درجهٔ سانتیگراد متوسط	تاریخ	درجه حرارت به سانتیگراد حداکثر	درجه حرارت به سانتیگراد متوسط
1	42.5	25.5	16	43.7	26 2
2	42.5	25.5	17	43.8	25.8
3	42.7	705.7	18	44.0	26.3
4	43.0	25.9	19	44.8	26.3
5	43.0	25.9	20	44.1	26.3
6	43.0	25.9	21	44.3	26.5
7	42.8	25.8	22	44.3	26.9
8	43.0	25.9	23	44.5	26.5
9	43.0	25.9	24	44.6	26.5
10	43.1	25.0	25	44.6	26.9
11	43.3	26.3	26	44.7	27.0
12	43.5	26.4	27	44.6	27 0
13	43.3	26.3	28	44.7	27.0
14	43.5	26.4	29	44.8	26.2
15	43.6	26.3	30	45.0	27.2

میانگین حداکثر درجه حرارت روزانه $T_{\max} = \frac{1311.6}{30} = 43.72°C$

میانگین درجه حرارت متوسط روزانه $T_a = \frac{789.7}{30} = 26.32°C$

$$\text{درجه حرارت مرجع فرودگاه} = T_a + \frac{(T_{\max} - Ta)}{3}$$

$$= ۲۶/۳۲ + \frac{۴۳/۷۲ - ۲۶/۳۲}{۳}$$

$$= ۲۶/۳۲ + ۵/۸۰$$

$$= ۳۲/۱۲$$

مثال ۲

- میانگین درجه حرارت جوی ماهیانه در سطح دریا برای محل بخصوصی که جهت فرودگاه مورد استفاده قرار خواهد گرفت در جدول نمایش داده شده است. مطلوبست درجه حرارت مرجع فرودگاه. در صورتیکه محل فرودگاه هم سطح دریا باشد طول نهایی تعدیل شده باند فرودگاه چقدر خواهد بود. فرض میشود که باند پرواز مسطح باشد.

ماه	حرارت به‌درجهٔ سانتیگراد: میانگین مقادیر متوسط روزانه (T_a)	میانگین مقادیر حداکثر روزانه (T_m)
اسفند	3	5
فروردین	15	17
اردیبهشت	20	23
خرداد	25	32
تیر	35	47
مرداد	40	50
شهریور	32	37
مهر	30	35
آبان	27	31
آذر	22	28
دی	12	18
بهمن	6	9

مثال ۲

□ حل:

با توجه به جدول فوق گرمترین ماه سال مردادماه می‌باشد، درنتیجه میانگین درجه حرارت حداکثر روزانه T_m برابر است با :

$$= 50^\circ C$$

$T_a = 40^\circ C$ میانگین درجه حرارت متوسط روزانه

$$\text{درجه حرارت مرجع فرودگاه} = T_a + \frac{(T_m - T_a)}{3}$$

$$= ۴۰ + \frac{(۵۰ - ۴۰)}{۳}$$

$$= ۴۳/۳۳ \quad \text{درجه سانتیگراد}$$

فرض می‌شود که طول اصلی باند فرودگاه برابر L متر باشد. چون باند پرواز در سطح متوسط دریا واقع است نیازی به تصحیح طول برای ارتفاع ندارد. چون درجه حرارت مرجع فرودگاه بیشتر از درجه حرارت جوی استاندارد می‌باشد بنابراین نیاز به تصحیح دارد. درجه حرارت میانگین سطح دریا مساوی ۱۵ درجه سانتیگراد است.

مثال ۲

□ حل : (ادامه)

درجه حرارت بیشتر = ۴۳/۳۳ − ۱۵°

= ۲۸/۳۳

بنابراین باند باید بازاء یک درجه سانتیگراد یک درصد افزایش یابد در نتیجه

$$\text{تصحیح طول} = \frac{L}{۱۰۰} \times ۲۸/۳۳$$

$$= ۰/۲۸۳۳\,L \quad \text{متر}$$

طول تصحیح شده باند پرواز = $L + ۰/۲۸۳۳\,L$

طول تصحیح شده باند پرواز = $۱/۲۸۳۳\,L$ متر

چون فرض براینست که باند پرواز مسطح می‌باشد نیاز به تصحیح ندارد ، درنتیجه طول واقعی باند فرودگاه برابر است با :

طول واقعی باند فرودگاه = $۱/۲۸۳۳\,L$ متر

مثال ۳

اطلاعات آماری زیر مربوط به پروفیل طولی باند یک فرودگاه در دست احداث می‌باشد. تمام ارتفاعات نسبت به خط افقی که دارای ارتفاع ۱۰۰ بوده و از نقطه O می‌گذرد سنجیده می‌شود.

شیب	انتها تا انتهای باند فرودگاه
+۱/۰%	از ۰/۰ تا ۵/۰ زنجیر متریک
−۱/۰%	از ۵/۰ تا ۱۵/۰ زنجیر متریک
+۰/۸%	از ۱۵/۰ تا ۳۰/۰ زنجیر متریک
+۰/۲%	از ۳۰/۰ تا ۴۰/۰ زنجیر متریک

درصورتیکه طول هر زنجیر متریک برابر با ۲۴ متر باشد، مطلوبست تاثیر شیب بر باند پرواز.

مثال ۳

حل:

زنجیر	۰	۵	۱۵	۳۰	۴۰
ارتفاع	۱۰۰/۰	۱۰۱/۰	۹۹/۰	۱۰۰/۸	۱۰۰/۲

حداکثر اختلاف در ارتفاع = ۱۰۱ − ۹۹/۰

= ۲/۰ متر

طول کل باند پرواز = ۴۰ × ۲۴

= ۹۶۰ متر

شیب موثر باند فرودگاه = $\frac{۲}{۹۶۰} \times ۱۰۰$ درصد

= ۰/۲۱ درصد

مثال ۴

- طول باند پرواز یک فرودگاه، تحت وضعیت استاندارد برابر با ۱۶۲۰ متر میباشد. ارتفاع فرودگاه از سطح دریا ۲۷۰ متر بوده و درجه حرارت مرجع آن برابر با ۳۲/۹۰ درجه سانتیگراد است. در صورتیکه باند پرواز با شیب موثر ۰/۲۰ درصد احداث شود مطلوبست طول تصحیح شده باند پرواز.

حل :

۱) تصحیح ارتفاع

$$= \frac{۷}{۱۰۰} \times \frac{۲۷۰}{۳۰۰} \times ۱۶۲۰$$

$$= ۱۰۲$$

طول تصحیح شده = ۱۶۲۰ + ۱۰۲ متر

$$= ۱۷۲۲ \text{ متر}$$

۲) تعیین درجه حرارت استاندارد جوی در ارتفاع داده شده

$$= ۱۵^\circ - ۰/۰۰۵۶ \times ۲۷۰$$

$$= ۱۳/۱۸ \text{ درجه سانتیگراد}$$

۳) تصحیح درجه حرارت

افزایش درجه حرارت = ۳۲/۹۰ − ۱۳/۱۸

$$= ۱۹/۷۲$$

تصحیح = $\frac{۱۷۲۲}{۱۰۰} \times ۱۹/۷۲$ درجه سانتیگراد

$$= ۳۴۰ \text{ متر}$$

طول تصحیح شده = ۱۷۲۲ + ۳۴۰

$$= ۲۰۶۲ \text{ متر}$$

مثال ۴

حل: ادامه

۴) کنترل کل تصحیح ارتفاع باضافه درجه حرارت

$$\text{درصد کل تصحیح} = \frac{۲۰۶۲ - ۱۶۲۰}{۱۶۲۰} \times ۱۰۰$$

$$= ۲۷/۲۰ \quad \text{درصد}$$

طبق توصیه ICAO (موسسه بین‌المللی هوانوردی کشوری) این مقدار نباید از ۳۵ درصد تجاوز نماید .

۵) تصحیح بمنظور وجود شیب

$$= \frac{۲۰}{۱۰۰} \times ۲۰۶۲ \times ۰/۲۰$$

$$= ۸۲/۴۸ \quad \text{متر}$$

$$\text{طول تصحیح شده} = ۲۰۶۲ + ۸۲/۴۸$$

$$= ۲۱۴۴/۴۸ \quad \text{متر}$$

با گردگردن مقدار فوق ، طول تصحیح شده باند فرودگاه برابر ۲۱۵۰ متر انتخاب می‌گردد .

تمرین منزل ۱

- طول باند پرواز یک فرودگاه تحت شرایط استاندارد برابر ۲۱۰۰ متر تعیین شده است. فرودگاه در ارتفاع ۴۱۰ متر از میانگین سطح دریا احداث خواهد شد. درجه حرارت مرجع فرودگاه برابر با ۳۲ درجه سانتیگراد میباشد و برای اجزاء ساختمان باند پرواز اطلاعات زیر در دست است.

درصد شیب	انتها تا انتهای باند فرودگاه (متر)
+ ۱/۰۰	از ۰ تا ۳۰۰
− ۰/۵۰	از ۳۰۰ تا ۹۰۰
+ ۰/۵۰	از ۹۰۰ تا ۱۵۰۰
+ ۱/۰۰	از ۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰
− ۰/۵۰	از ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰
− ۰/۴۰	از ۲۱۰۰ تا ۲۷۰۰
− ۰/۱۰	از ۲۷۰۰ تا ۳۰۰۰

مطلوبست طول باند پرواز در صورتیکه تصحیح ارتفاع و درجه حرارت براساس توصیه ICAO و این تصحیح برای شیب براساس توصیه FAA انجام پذیرد .

تمرین منزل ۲

- طول باند پرواز لازم برای فرود در ارتفاع هم سطح دریا و وضعیت درجه حرارت استاندارد جوی، برابر با ۳۰۰۰ متر تعیین شده است. طول باند پرواز لازم برای برخاست از محلی هم سطح دریا با وضعیت درجه حرارت استاندارد جوی برابر با ۲۵۰۰ متر میباشد. درجه حرارت مرجع فرودگاه ۲۴ درجه سانتیگراد و درجه حرارت استاندارد جوی فرودگاه در ارتفاع ۱۵۰ متر برابر ۱۴/۰۲۵ درجه سانتیگراد است. در صورتیکه شیب موثر باند پرواز ۰/۵ درصد باشد، مطلوبست طول تعدیل شده باند پرواز.

طبقه بندی فرودگاه

- استاندارد هندسی فرودگاه بستگی به خصوصیات اجرایی هواپیما، اوضاع جوی، چگونگی ارائه خدمات فرودگاهی (برای استفاده مسافرین بین المللی و یا محلی) دارد.
- طبقه بندی فرودگاه کمک بزرگی به طراحی فرودگاه و ایجاد یکنواختی در استانداردهای طراحی مینماید.
- طبقه بندی فرودگاه ها بوسیله موسسات مختلف از قبیل ایکائو (سازمان بین المللی هواپیمایی کشوری)، آژانس هوانوردی فدرال (FAA)، نیروی هوائی ایالات متحده و غیره انجام گرفته است.

طبقه بندی سازمان بین المللی هوانوردی کشوری

- طبقه بندی توسط این سازمان به دو روش میباشد
  - طبقه بندی بر اساس طول باند پرواز
    - بوسیله حروف از A تا E مشخص شده است. فرودگاه نوع A دارای طولانی ترین باند پرواز و نوع E کوتاه ترین باند پرواز را دارا است. مشخصات لازم در جدول نشان داده شده است.

طبقه‌بندی فرودگاه	طول اساسی باند پرواز				عرض روسازی باند پرواز		حداکثر شیب طولی (درصد)
	حداکثر		حداقل				
	m	ft	m	ft	m	ft	
A			2100	7000	45	150	1.5
B	2099	6999	1500	5000	45	150	1.5
C	1490	4999	900	3000	30	100	1.5
D	899	2999	750	2500	22.5	75	2.0
E	749	2499	600	2000	18	60	2.0

طبقه بندی سازمان بین المللی هوانوردی کشوری

- طبقه بندی توسط این سازمان به دو روش میباشد
  - طبقه بندی بر اساس بار معادل چرخ منفرد Equivalent Single Wheel Load و فشار باد لاستیک هواپیما که از فرودگاه استفاده میکنند. طبقه بندی با استفاده از اعداد ۱ تا ۷ و طبق جدول زیر میباشد.

کد	بارچرخ منفرد		فشار لاستیک	
	kg	lbs	kg/cm^2	lbs/in^2
1	45,000	100,000	8.5	120
2	34,000	75,000	7.0	100
3	27,000	60,000	7.0	100
4	20,000	45,000	7.0	100
5	13,000	30,000	6.0	85
6	7,000	15,000	5.0	70
7	2,000	5,000	2.5	35

طرح هندسی باند فرودگاه

- موسسه یکائو استانداردهای هندسی مختلفی را برای طراحی فرودگاه ارائه داد است. به منظور یکنواخت کردن امکانات فرود در فرودگاههای کشورهای مختلف، بهتر است که تمام کشورهای عضو از استانداردهای طرح هندسی توصیه شده بوسیله موسسه ایکائو تبعیت نمایند. موارد زیر باید در طرح هندسی باند فرودگاهها مورد بررسی قرار گیرد:
  - طول باند پرواز
  - عرض باند پرواز
  - عرض و طول منطقه ایمن
  - شیب عرضی
  - شیب عرضی
  - شیب طولی و شیب موثر
  - میزان تغییرات شیب طولی
  - مسافت دید

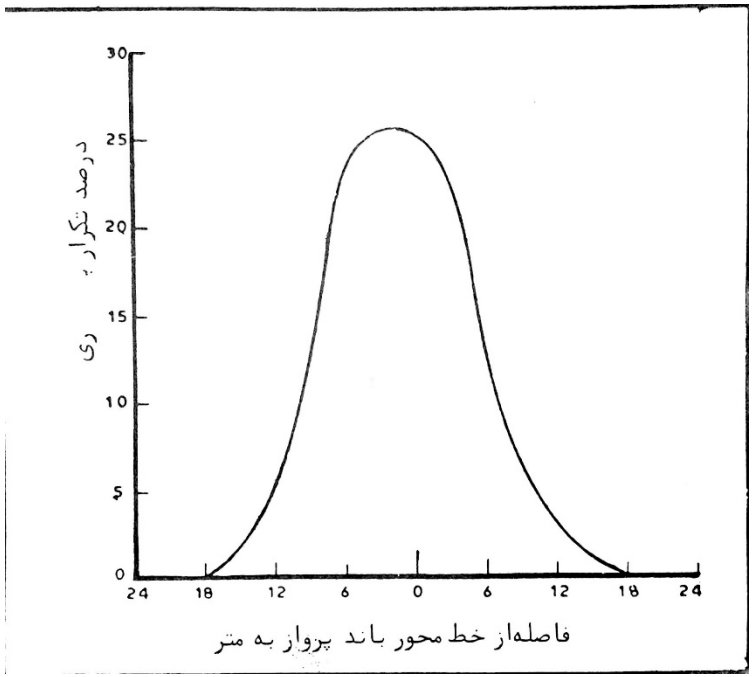
طرح هندسی باند فرودگاه

- طول باند پرواز
  - طول پایه باند پرواز توصیه شده توسط ایکائو برای انواع مختلف فرودگاهها در جدول داده شده است. برای تعیین طول واقعی باند پرواز، باید طول پایه باند پرواز به ترتیب مشروح در قبل برای تفاوت ارتفاع و درجه حرارت و شیب تصحیح گردد.

طبقه‌بندی فرودگاه	طول اساسی باند پرواز				عرض روسازی باند پرواز		حداکثر شیب طولی (درصد)
	حداکثر		حداقل				
	m	ft	m	ft	m	ft	
A			2100	7000	45	150	1.5
B	2099	6999	1500	5000	45	150	1.5
C	1490	4999	900	3000	30	100	1.5
D	899	2999	750	2500	22.5	75	2.0
E	749	2499	600	2000	18	60	2.0

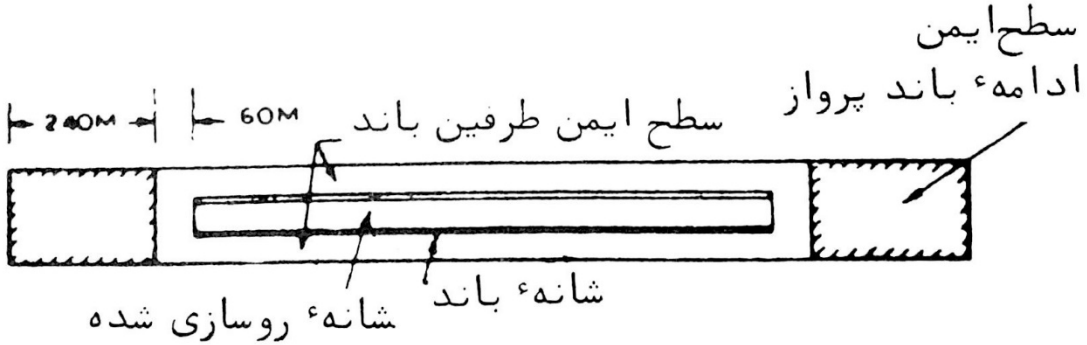
عرض باند پرواز

- طبقه توصیه ایکائو عرض روسازی باند فرودگاه های مختلف از ۱۸ متر تا ۴۵ متر متغیر است. نمونه توزیع ترافیک در عرض روسازی باند یک فرودگاه در شکل نشان داده شده است. شکل منحنی، نمودار این نکته است که رفت و آمد هواپیما بیشتر بر روی ۲۴ متر وسط روسازی متمرکز میباشد.



عرض باند پرواز

- شانه های طرفین باند و سطوح پاکسازی شده و شیب بندی و زهکشی شده اطراف بند به ترتیب منعکس در شکل زیر است. این منطقه را باید طوری مسطح نمود که آبهای سطحی براحتی جمع آوری شوند.
- از طرفی خارجی ترین موتور هواپیمای جت بزرگ که از فرودگاه استفاده میکند نباید خارج از روسازی باند قرار گیرد، زیرا شانه باند معمولاً خاکی بوده و در اثر مکش موتور هواپیما ذرات خاک وارد آن شده و به آن آسیب میرساند.
  - موتورهای خارجی جتهای بزرگ حدود ۱۳/۵ متر از محور طولی هواپیما فاصله دارند بنابراین روسازی بعرض ۴۵ متر قادر به حمایت کافی از موتور هواپیما را دارد.



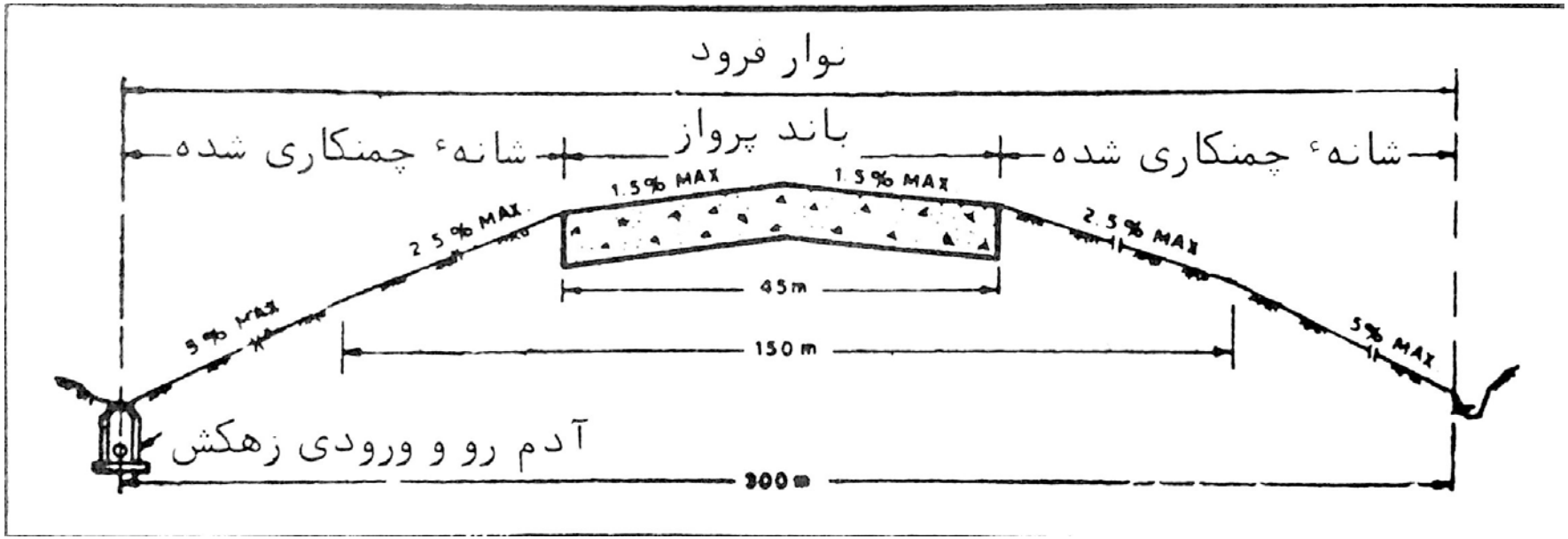
طول و عرض منطقه ایمن

- منطقه ایمن شامل سطح روسازی شده باند پرواز به اضافه شانه های باند میباشد.
  - شانه های باند معمولاً بدون روسازی بوده و تنها در مواقع اضطراری و بهنگام عملکرد غیر طبیعی هواپیماها مورد استفاده قرار میگیرد.
  - در بعضی مواقع شانه ها را بوسیله تثبیت خاک و یا چمن کاری نگهداری مینمایند. مزیت دیگر احداث شانه در دو طرف باند اینست که در اثر بازبودن منطقه، خلبان با شرایط روانی بهتری نشست و برخاست را انجام میدهد.
  - طبق توصیه ایکائو برای باندهای پرواز با سیستم فرود رویتی، حداقل عرض منطقه ایمن در فرودگاههای نوع A, B,C برابر ۱۵۰ متر و برای نوع E,Dبرابر ۷۸ متر در نظر گرفته میشود.
  - برای باندهای مجهز به سیستم فرود دستگاهی، حداقل عرض منطقه ایمن ۳۰۰ متر است.

طول و عرض منطقه ایمن

- در امتداد باند پرواز، حریم فرود باید حدود ۶۰ متر از دو انتهای باند ادامه پیدا کند. بنابراین طول منطقه ایمن برابر با طول باند پرواز به اضافه ۱۲۰ متر میباشد. و در صورتیکه در انتهای باند معبر توقف در نظر گرفته شده باشد حریم فرود باید ۶۰ متر بعد از معبر توقف ادامه پیدا کند.

نمونه نیمرخ عرضی باند پرواز با سیستم فرودگاه دستگاهی:



شیب عرضی

- شیب عرضی معمولاً جهت هدایت سریع آبهای سطحی مورد استفاده قرار میگیرد. در صورتیکه آبهای سطحی تشکیل حوضچه هایی در روی باند پرواز دهند، خطرات شدیدتر برای هواپیما ایجاد مینماید.
  - طبق توصیه موسسه ایکائو، شیب عرضی روسازی باند پرواز نباید از ۱/۵ درصد برای فرودگاههای A, B, C برابر ۲ درصد و برای فرودگاههای D و E تجاوز نماید و در مورد حداقل شیب عرضی از طرف این موسسه هیچ توصیه ای نشده است. میتوان در این مورد از محدودیت اختیاری ۰/۵ درصد تبعیت نمود.
  - شانه های باند معمولاً با شیب تندتری احداث میگردند و بر طبق توصیه ایکائو، شیب عرضی قسمتی از شانه تا فاصله ۷۵ متر از محور باند پرواز نباید از ۲/۵ درصد تجاوز نماید. حداکثر شیب عرضی بقیه شانه باند ۵ درصد میباشد.

شیب طولی و شیب موثر

- شیب طولی در باند پرواز باعث افزایش طول لازم باند میگردد.
  موسسه FAA مقادیر زیر را برای حداکثر مجاز شیب طولی و حداکثر شیب موثر توصیه مینماید
  - برای شیب طولی
    - حداکثر شیب طولی مجاز برای فرودگاه های نوع A,B,C : ۱/۵ درصد
    - حداکثر شیب طولی مجاز برای فرودگاههای نوع D,E: ۲ درصد
  - برای شیب موثر
    - حداکثر شیب موثر برای فرودگاههای A,B,C: ۱/۰۰ درصد
    - حداکثر شیب موثر برای فرودگاههای D,E: ۲ درصد

نسبت تغییرات شیب طولی

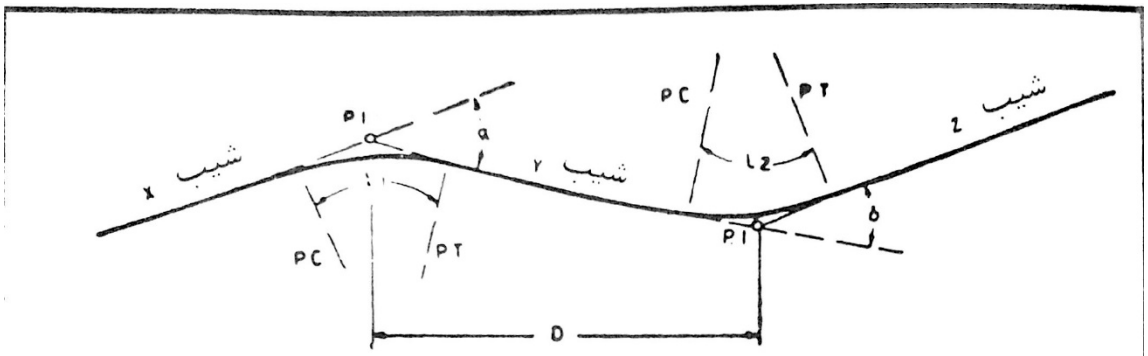
- تغییرات ناگهانی شیب طولی
  - ممکن است باعث ایجاد نقیصه در عملکرد هواپیماها در هنگام برخاست گردد و ایراد این نقیصه خود باعث ایجاد اثرات منفی در ساختمان سازه ای هواپیما شود.
  - این تاثیرات در مورد هواپیماهای جت و مافوق صوت آنها شدت بیشتری دارد زیرا این هواپیما دارای سرعت برخاست زیادی هستند. تغییر شیبهای متعدد در یک طول کم باند پرواز، باعث کاهش مسافت دید و در نتیجه افزایش طول باند پرواز میگردد. بنابراین نه تنها تعداد نقاط تغییر شیب، بلکه فاصله این نقاط نیز باید در محدوده مجاز نگهداشته شود.
  - تغییر شیب باید بکمک قوسهای قائم، صاف و تخت گردد.

نسبت تغییرات شیب طولی

- تغییرات ناگهانی شیب طولی
  - طبق توصیه ایکائو
    - میزان تغییرات شیب باید به حداکثر ۰/۱ درصد به ازاء هر ۳۰ متر طول قوس قائم در فرودگاههای A,B محدود باشد و این مقدار برای فرودگاه نوع C برابر ۰/۲ درصد و برای فرودگاه نوع D,E برابر ۰/۴ درصد باشد.
    - فاصله بین دو نقطه تغییر شیب نباید از قدر مطلق عددی تغییر شیب ضربدر ۳۰۰ متر برای فرودگاههای A,B کمتر باشد. این مقدار برای فرودگاه Cبرابر با ۱۵۰ متر و برای D,Eبرابر با ۴۹/۵ متر باشد . توصیه موسسه FAA در شکل نشان داده شده است.

نسبت تغییرات شیب طولی

- تغییرات ناگهانی شیب طولی
  - طبق توصیه ایکائو



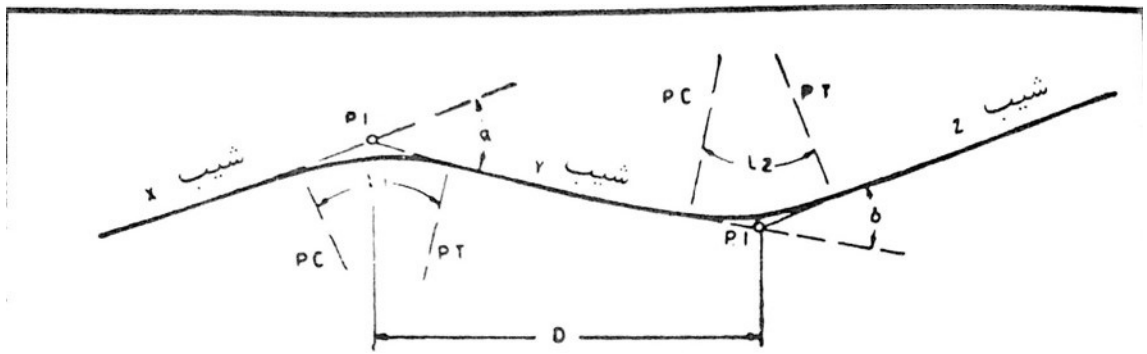
وضعیت	فرودگاه کوچک	فرودگاه بزرگ
۱ ــ حداکثر تغییرات از قبیل (a) و (b) نباید از مقادیر روبروتجاوزکند	۲ درصد	۱/۵ درصد
۲ ــ طول قوس قائم (L_1 و L_2) به ازاء هر یک درصد تغییرات شیب	۹۰ متر	۳۰۰ متر
۳ ــ حداقل فاصله بین نقاط تقاطع خطوط شیب (D)	۷۵(a + b) متر	۳۰۰(a+b) متر

مسافت دید

- شیب طولی توصیه شده برای باند پرواز کاملاً ملایم میباشد و در نتیجه محدودیت شدیدی در مسافت دید بوجود نمیآورد.
  - هرگاه دو باند پرواز و یا یک باند پرواز و یک باند خزش یکدیگر را قطع کنند، در صورت عدم تامین مسافت دید کافی، احتمال برخورد هواپیماها با یکدیگر وجود دارد.
  - توصیه موسسه ایکائو
    - در فرودگاههای A,B,C : ۳ متر بالای هر نقطه از باند پرواز از فاصله ای برابر نصف طول باند باید به طور کامل قابل رویت باشد
    - در فرودگاههای C,D : ۳ متر بالای هر نقطه از باند پرواز، باید از هر نقطه دیگری که به ارتفاع ۲/۱ متر بالای باند و بفاصله حداقل نصف طول باند قرار گرفته بدون هیچ مشکلی قابل رویت باشد.

مثال

- در عملیات شیب بندی طولی یک باند پرواز سه شیب به صورت شکل زیر و با مقادیر داده شده یکدیگر را قطع کرده اند. مطلوبست طول قوس های قائم و مسافت دید بین نقاط تغییر شیب باند پرواز در صورتیکه باند پرواز مورد استفاده هواپیماهای جت قرار گرفته و ضوابط طراحی توصیه های ایکائو باشد.



X=0.5% , Y=0.7% , Z=0.4%

مثال

- حل:
  - با توجه به شکل:

$a = x - y = ۰/۵ - (-۰/۷) = ۱/۲$ درصد

$b = y - z = -۰/۷ - (۰/۴) = ۱/۱$ درصد

$L_۱ = ۳۰۰ \times ۱/۲ = ۳۶۰$ متر طول قوس قائم سمت چپ

$L_۲ = ۳۰۰ \times ۱/۱ = ۳۳۰$ متر طول قوس قائم سمت راست

$D = ۳۰۰ (۱/۲ + ۱/۱) = ۶۹۰$ متر فاصله بین نقاط تغییر شیب

* : عدد ۳۰۰ از تقسیم عدد ۳۰ بر ۰/۱ بدست آمده که در محدودیت فرودگاه نوع در توصیهٔ ICAO درج گردیده است .

مثال

- نقشه شیب بندی یک باند پرواز نمودار اینست که شیبهای سربالایی یک درصد و سپس شیب سرازیر ۰/۷ درصد و بعدا شیب سربالای ۰/۷ درصد یکدیگر را قطع میکنند. مطلوبست طرح پروفیل باند پرواز بر اساس مشخصات FAA

- حل:

$a = x - y = ۱/۰ - (-۰/۷) = ۱/۷۰$ درصد

$b = -y - z = -۰/۷ - ۰/۷ = ۱/۴$ درصد

چون مقدار a بزرگتر از ۱/۵ (محدودیت فرودگاه بزرگ) می‌باشد بنابراین طراحی باید برای فرودگاه کوچک صورت گیرد .

$L_۱ = ۹۰ \times ۱/۷ = ۱۵۳$ متر

$L_۲ = ۹۰ \times ۱/۴ = ۱۲۶$ متر

$D = ۷۵ (a + b) = ۷۵ (۱/۷۰ + ۱/۴۰) = ۲۳۲$ متر