



**Sharif University of Technology**  
**Department of Aerospace Engineering**

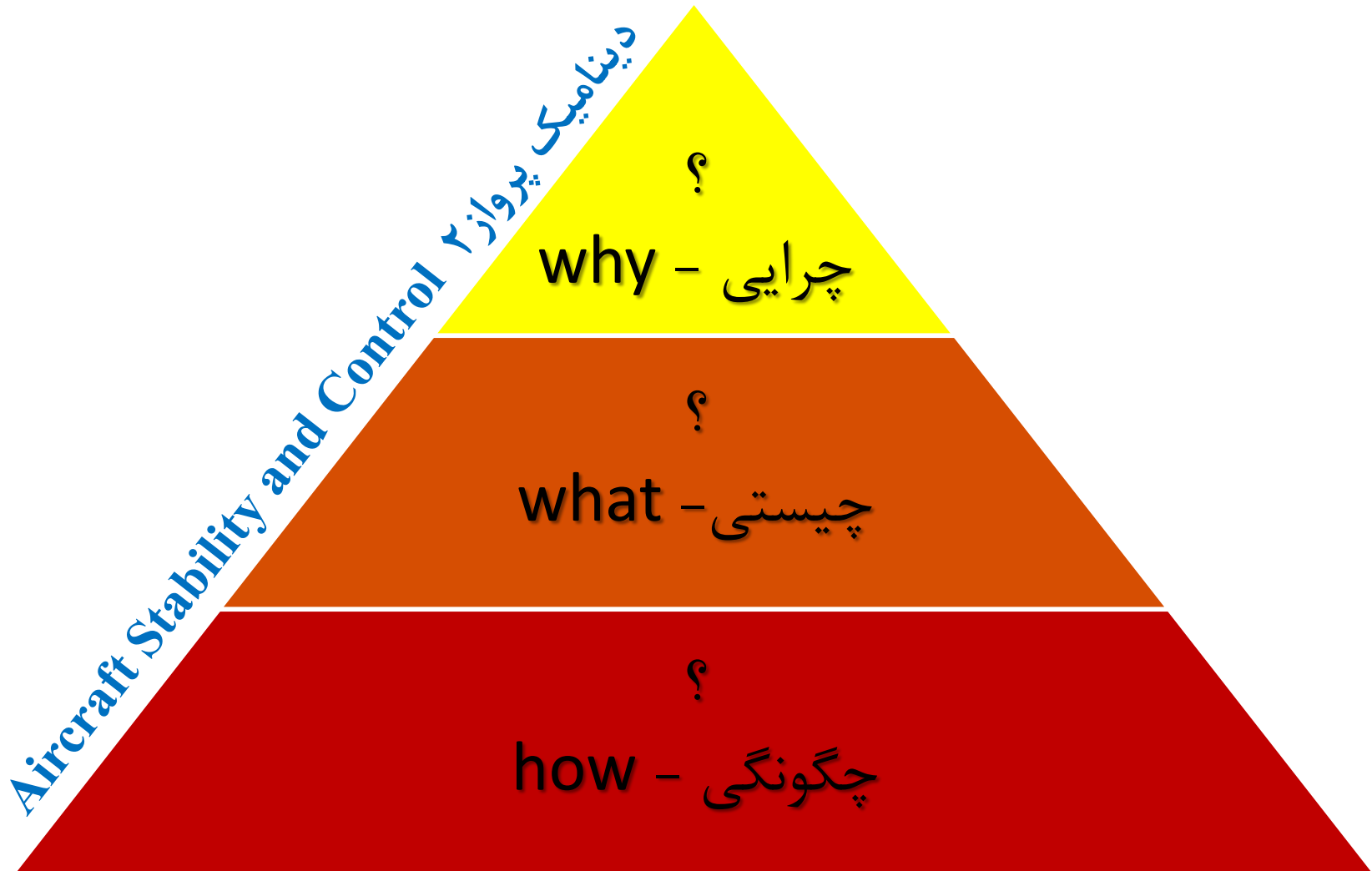
# **Aircraft Stability and Control (Flight Dynamics II)**

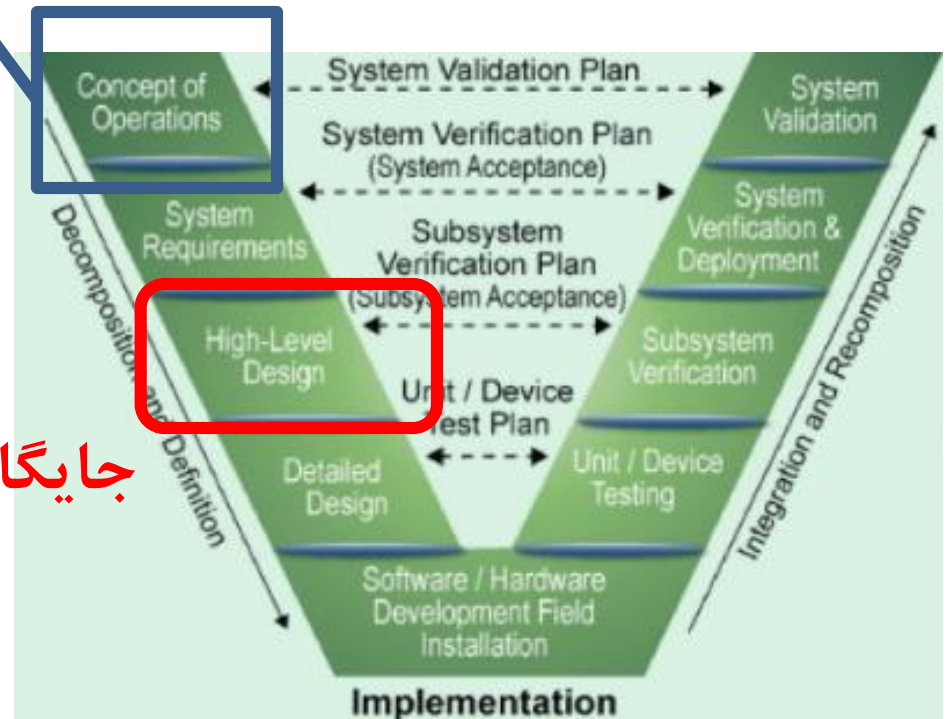
## **AERO-45157**

**Winter 2021 (1399-2)**  
**Saturday and Monday (09:00- 10:30)**

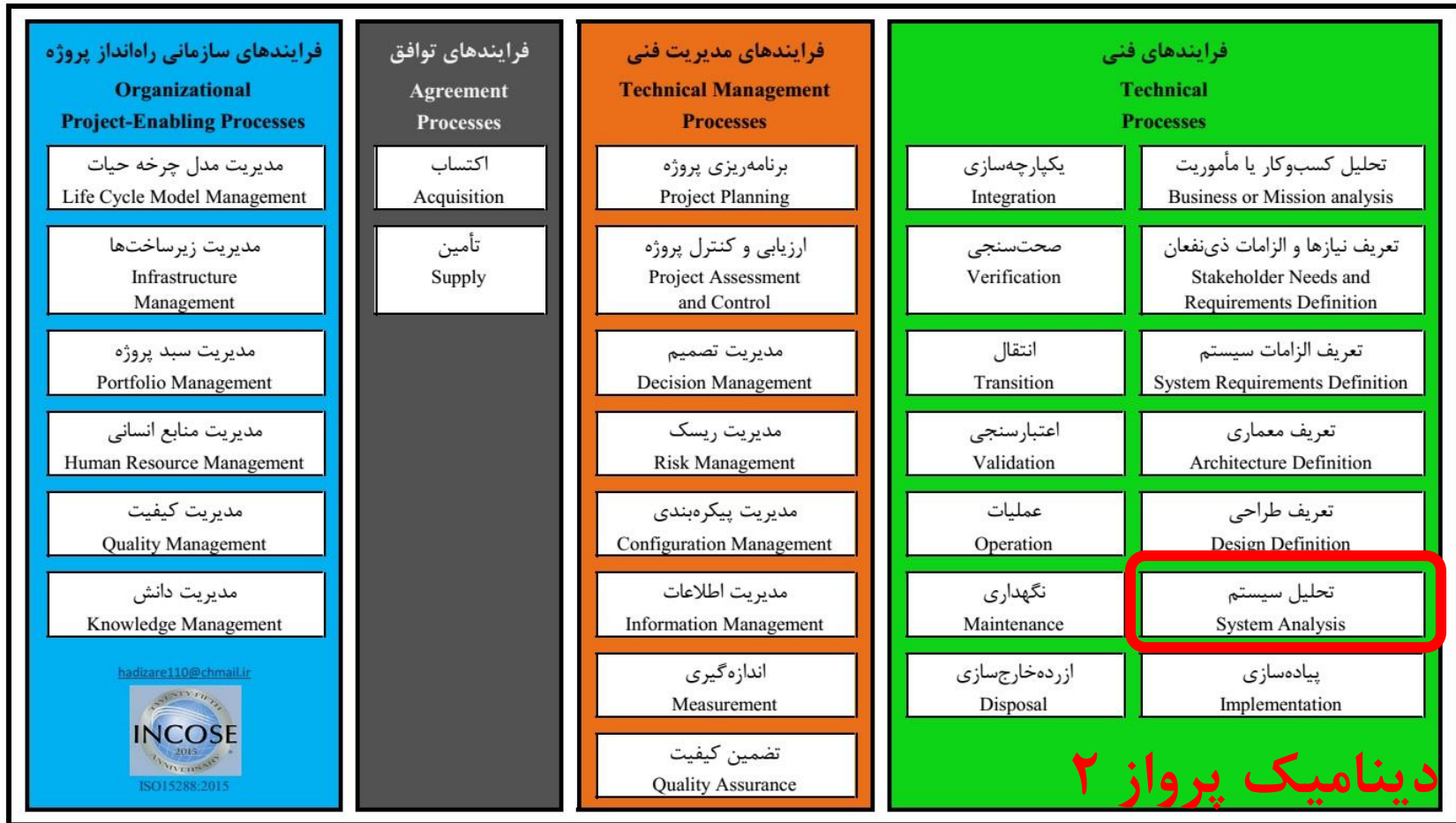
**Instructor: Dr. Hadi Zare**





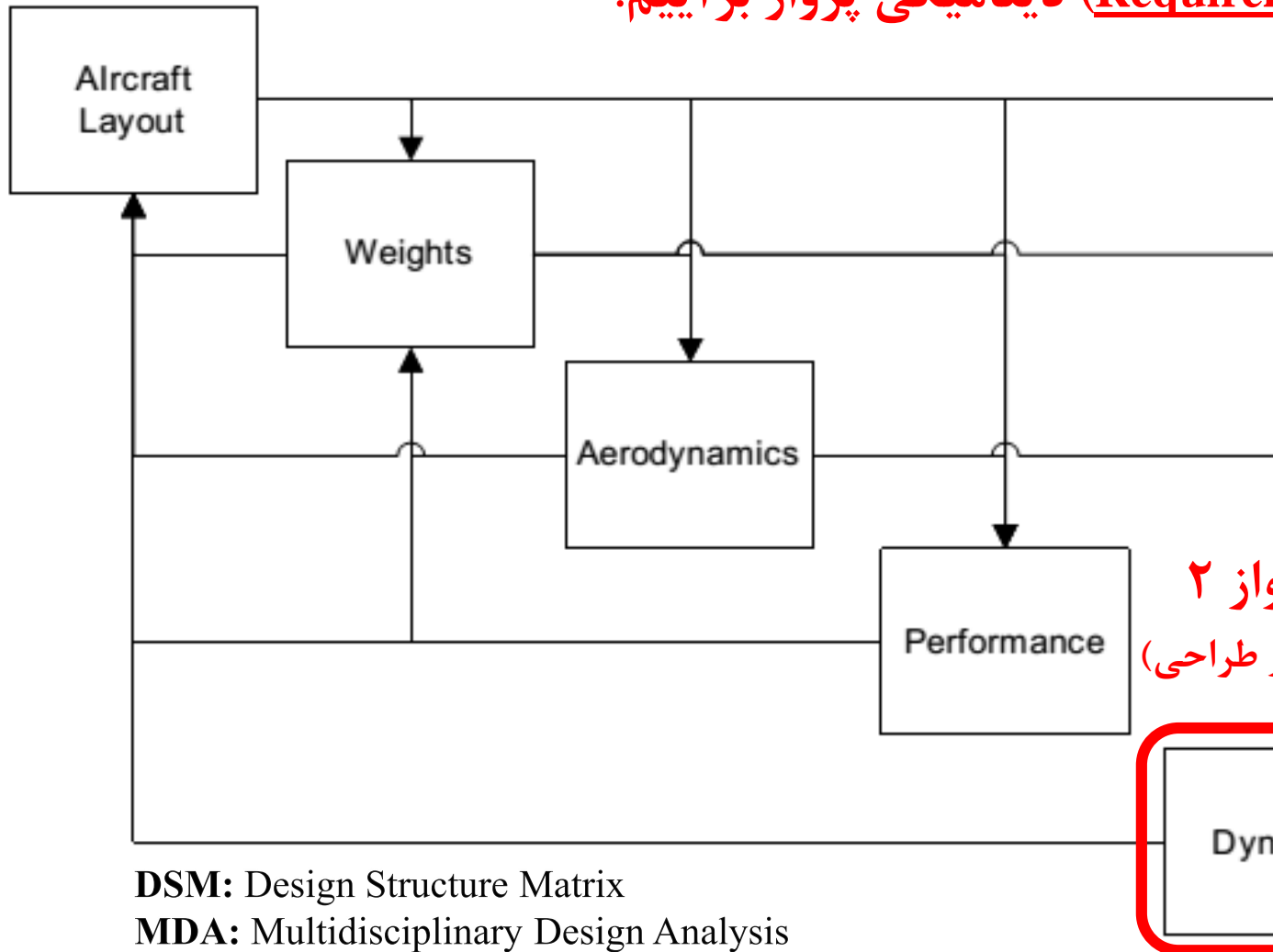


جایگاه دینامیک پرواز ۲  
در مدل Vee



در فرایندهای مهندسی سیستم (تکنیک تحقق محصول)

باید به ابزارهای مهندسی مجهز شویم که از عهده‌ی تحلیل‌های متناسب با الزامات (Requirements) دینامیکی پرواز برآییم.



جایگاه دینامیک پرواز ۲  
در DSM (ماتریس ساختار طراحی)

**DSM:** Design Structure Matrix

**MDA:** Multidisciplinary Design Analysis

**دینامیک پرواز:** علم مطالعه حرکت یک وسیله در هوا (فضا) می‌باشد.

سه شاخه اصلی این علم عبارتند از:

## ۱- عملکرد (Performance):

✓ هدف:

تحلیل مشخصه‌های عملکردی هواپیما

✓ ویژگی اصلی:

نگرش به هواپیما به عنوان جرم متمرکز با ۳ درجه آزادی (حرکت انتقالی)

✓ مباحث اصلی:

- Speed limits
- Flight envelope, V-n Diagram
- Cruise/Climb/Turn performance
- Take off/Landing performance

## ۲- پایداری و کنترل (Stability & Control):

در این بخش به دو موضوع مهم شامل: **قابلیت پرواز و کنترل** هواپیما در مسیرهای دائم و **عکس العمل** آن در مقابل اختلالات (Disturbances) پرداخته می‌شود.

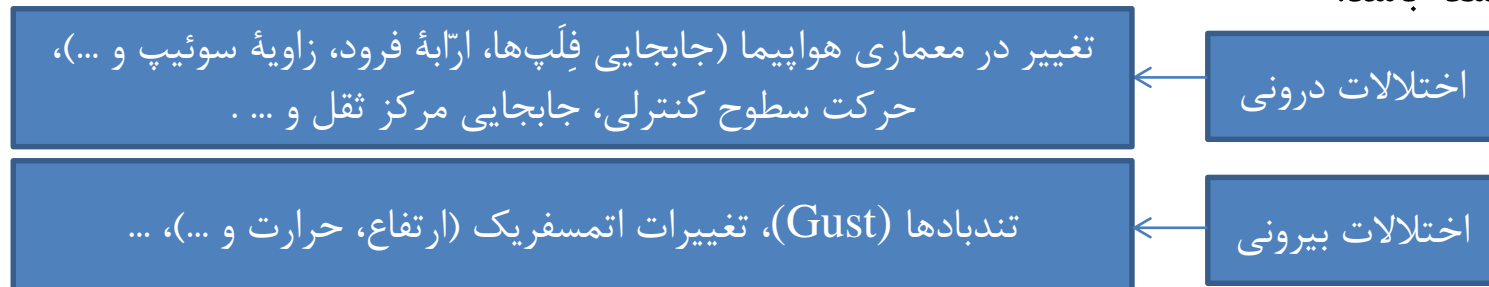
ابزار این بررسی، توسعه معادلات دینامیکی و مدل‌های آیرودینامیکی متناسب است.

✓ ویژگی‌های اصلی در این بررسی شامل موارد زیر است:

□ مطالعه هواپیما به عنوان یک جرم متمرکز با ۶ درجه آزادی (سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی)؛

□ در نظر گرفتن رفتار کوتاه مدت وسیله در ارزیابی پایداری (زمین، دستگاه مختصات، جرم و ...)

□ اختلال به عنوان محرک در سنجش پایداری هواپیما مطرح است که می‌تواند منشأ درونی یا بیرونی داشته باشد:



□ پایداری و ارزیابی آن در ابعاد استاتیکی و دینامیکی قابل تعریف است. هر دو نوع پایداری را می‌توان به صورت ذاتی در یک وسیله پرنده ایجاد نمود؛

## ۳- آیروالاستیسیته (Aeroelasticity):

با توجه به ماهیت غیر صلب هواپیماها (خصوصاً هواپیماهای بزرگ)، آیروالاستیسیته به اثرات متقابل سازه و آیرودینامیک (و نیروهای اینرسی) می پردازد. بررسی پایداری و صحت سازه‌ای هواپیمای الاستیک در مقابل بارهای دائم و غیر دائم آیرودینامیکی در این شاخه از علم دینامیک پرواز صورت می‌گیرد.

آیروالاستیسیته به دو حوزه مطالعاتی استاتیک و دینامیک طبقه‌بندی می‌گردد.



## • آیروالاستیسیتِه استاتیک (عامل اصلی: بارهای دائم)

وقایع آیروالاستیک استاتیک، در ابتدا به صورت جابجایی (تغییر شکل) بروز خواهد نمود و جابجایی در بسیاری از اوقات در یک شرایط تعادلی متوقف می‌گردد؛ لکن در صورت افزایش سرعت ممکن است خطرساز شود.

### ○ واگرایی استاتیکی (Divergence)

واگرایی استاتیکی زمانی رخ می‌دهد که یک سطح برآزا در اثر نیروهای آیرودینامیکی طوری جابجا گردد که منجر به افزایش متعاقب این نیرو گردد. طبیعتاً نیروی بزرگتر جابجایی بیشتر را به همراه دارد؛ تا جایی که سازه را به سرحدّ تحمّل یا مقاومت می‌رساند که بعد از آن، شکست (Failure) را به همراه خواهد داشت.

$$\bar{q} \rightarrow \bar{q}_D = \text{Divergence Dynamic Pressure}$$

### ○ برگشت‌پذیری کنترل (Control Reversal)

به معنی از دست دادن (Loss) یا معکوس شدن پاسخ متوقع (Expected Response) از یک سطح کنترلی به خاطر جابجایی الاستیک سطح اصلی برآزا می‌باشد.

تجمّع دو برا قبل از وقوع معکوس شدن، به سمت صفر میل می‌کند!

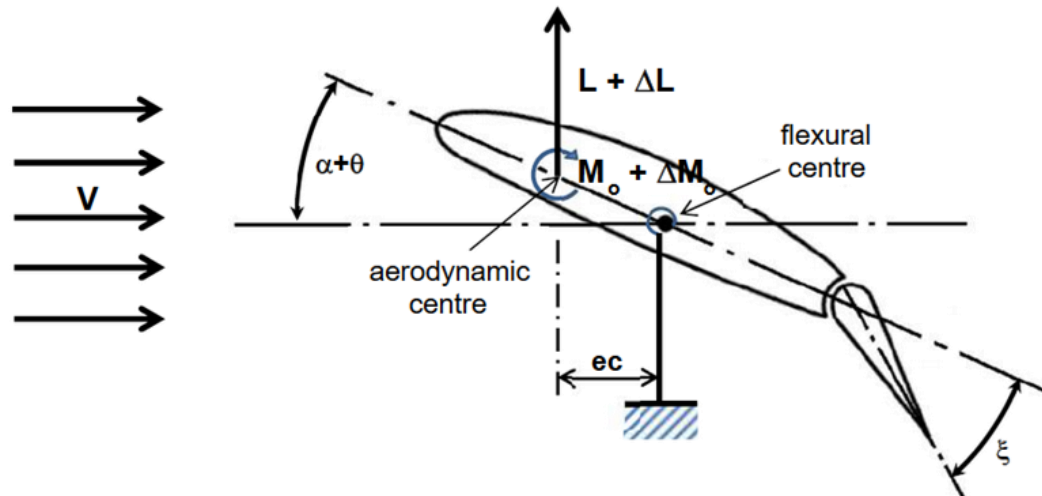
$$\bar{q} \rightarrow \bar{q}_R \quad \text{Reversal Dynamic Pressure}$$

## • آیروالاستیسیته استاتیک (عامل اصلی: بارهای دائم)

وقایع آیروالاستیک استاتیک، در ابتدا به صورت جابجایی (تغییر شکل) بروز خواهد نمود و جابجایی در بسیاری از اوقات در یک شرایط تعادلی متوقف می‌گردد؛ لکن در صورت افزایش سرعت ممکن است خطرساز شود.

## ○ برگشت‌پذیری کنترل (Control Reversal)

Control reversal is the condition when deflecting the control surface, such as aileron, no longer produces the effect intended i.e. increasing the lift over the wing, but may even result in the opposite of it. As an example, for a real non-rigid wing, at speeds above the aileron reversal speed, deflecting the aileron would also increase the nose-down moment about the flexural axis, causing the wing structure to twist accordingly. If the reduction of lift due to this nose-down twisting is greater than the increase in lift due to the deflection of the aileron, then this would cause the aircraft to roll in the opposite direction to that was intended. More important, at speeds approaching the reversal speed, the response of the aircraft towards aileron deflection is very slow or none at all, causing it to be uncontrollable.



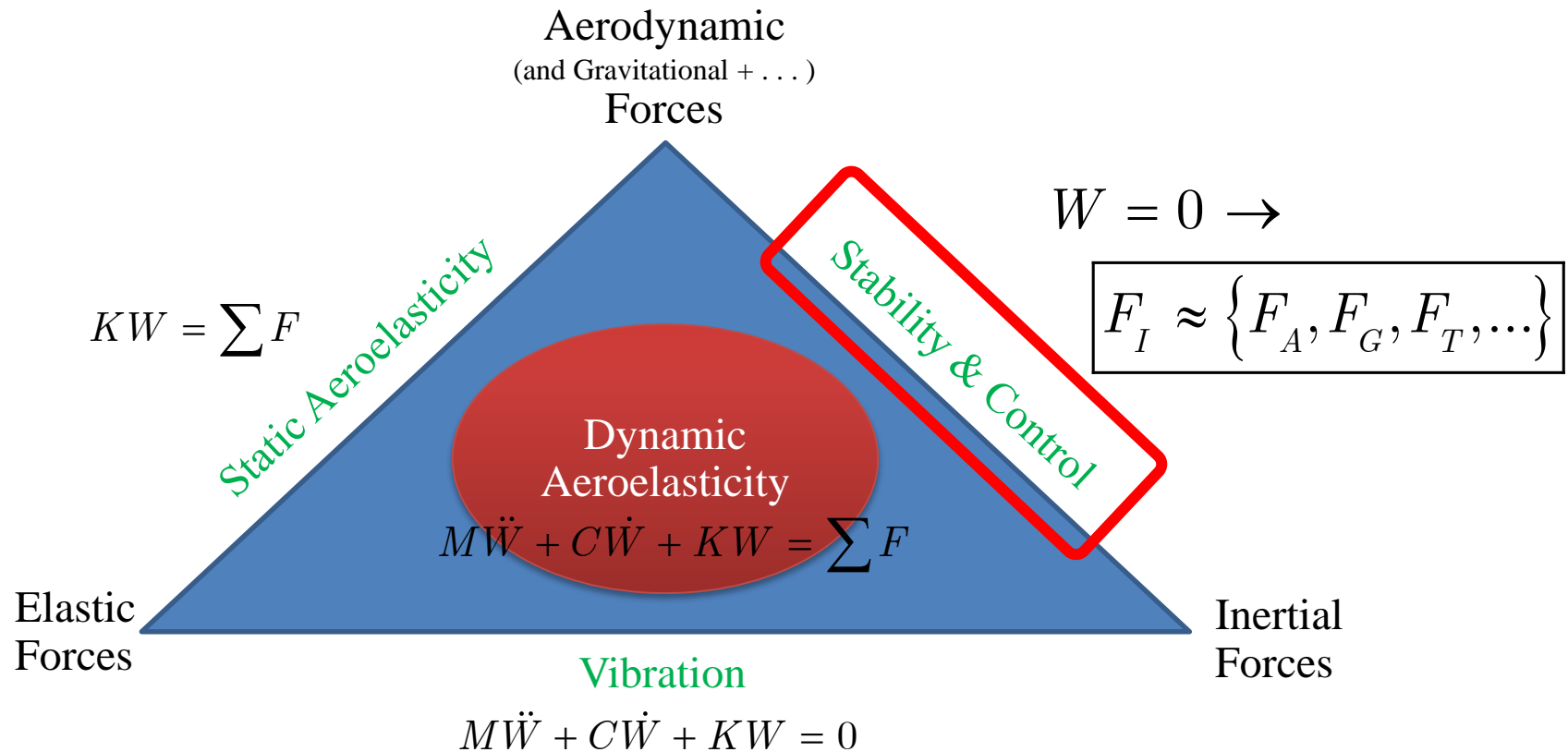
## • آیروالاستیسیته دینامیک (عامل اصلی: بارهای غیردائم)

تداخل میان نیروهای سه‌گانه اینرسی، آیرودینامیکی و الاستیک را بررسی می‌کند. وقایع مهم در این مبحث عبارتند از:

○ **فلوتر (Flutter):** حرکت پرچم‌گونه بال که در شرایط بحرانی می‌تواند منجر به واگرایی دامنه نوسانات و نهایتاً خستگی یا شکست سازه شود.

○ **بافت (Buffet):** ناپایداری با فرکانس بالا به خاطر نوسانات امواج شاک و ...

➤ مثلث آیروالاستیک کولار *Collar's Aeroelastic Triangle*



در این درس به دنبال روابطی هستیم که نیروهای اینرسی حرکت هواپیما را به نیروهای خارجی وارده (آیرودینامیک و جاذبه) مرتبط سازد. رفتار ذرات، به تنهایی مورد مطالعه قرار نمی‌گیرد.

## نقشه راه درس

### ❖ Aircraft Equations of Motion

- Reference Frames and Assumptions
- Conservation of the Linear Momentum Equations
- Conservation of the Angular Momentum Equations
- Euler Angles and Transformation Matrices
- Flight Path Equations
- Kinematic Equations
- Aircraft Equations of Motion at Steady-State Conditions

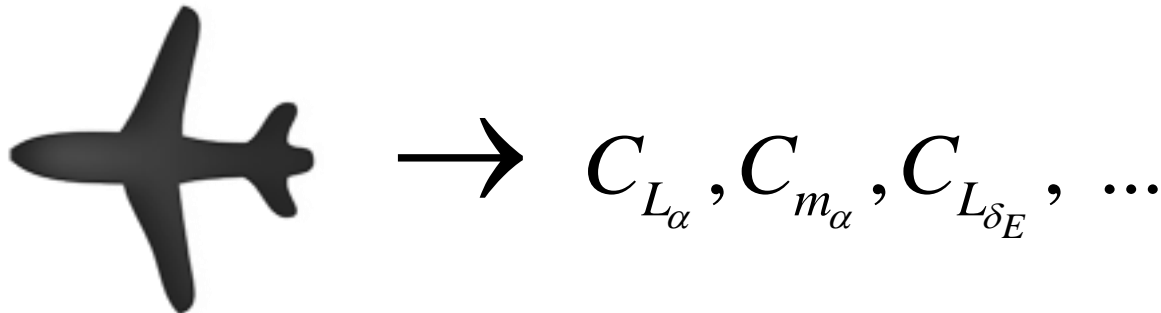
$$i) \quad \frac{d\vec{P}^i}{dt} = \vec{F}^i$$

$$ii) \quad \frac{d\vec{H}^i}{dt} = \vec{M}^i$$

## نقشه راه درس

### ❖ Modeling of Aerodynamic and Thrust Forces and Moments

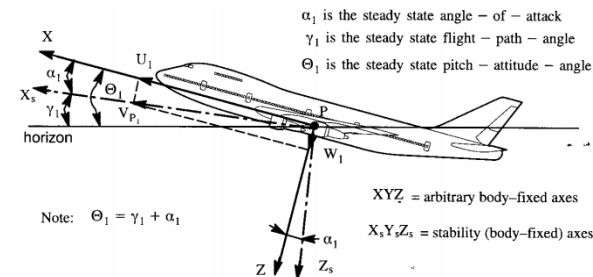
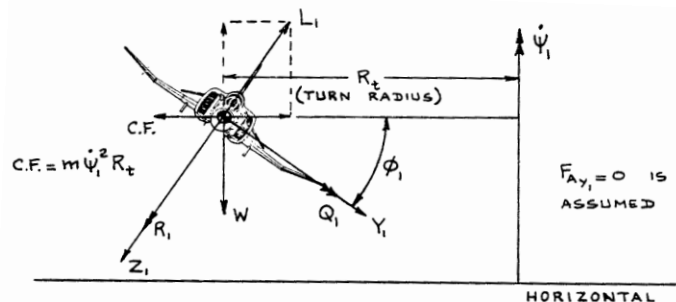
- Experimental-Based vs. Empirical-Based Modeling
- Modeling of the Steady-State Aerodynamic Forces and Moment
- Modeling of the Small Perturbation Aerodynamic Forces and Moment
- Summary of Longitudinal Stability and Control Derivatives
- Criteria for Aircraft Static Stability
- Aircraft Aerodynamic Center



## نقشه راه درس

### ❖ Aircraft Stability and Design for Trim Conditions

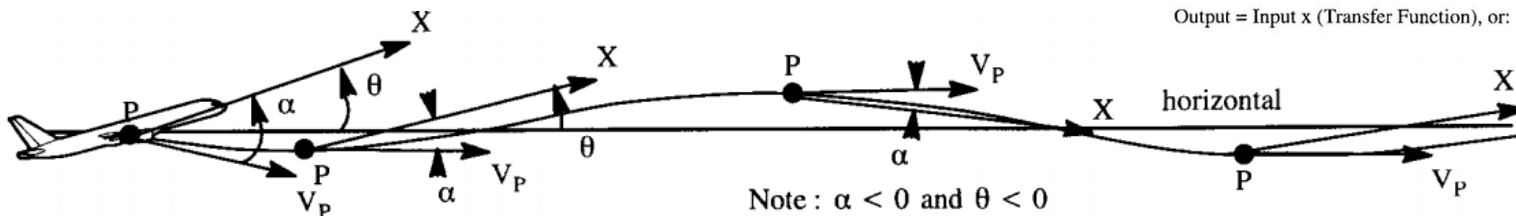
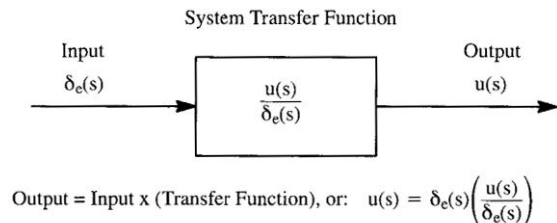
- Internal vs External Trim
- Longitudinal Analysis of Steady-State Straight Flight
- Lift Chart and Trim Diagram
- Lateral Directional Analysis of Steady-State Straight Flight
- Minimum Control Airspeed
- Longitudinal and Lateral Analysis of Steady-State Maneuvering Flight
- Maneuver Point Determination



## نقشه راه درس

### ❖ Aircraft Stability and Control for Perturbed-State Flight

- Concept of Aircraft Dynamic Stability
- Aircraft Equations of Motion at Perturbed-State Conditions
- Application of Laplace Transformations to the Small Perturbation Equations
- Longitudinal Equations and Transfer functions
- Short Period and Phugoid Approximations
- Lateral Directional Equations and Transfer functions
- Rolling Approximations
- Stability Augmentation Systems





## نقشه راه درس

### ❖ Supplementary Topics

- Standards, Regulations, and Industry Practices
- Aircraft Handling Qualities
- Introduction to Helicopter and Non-Fixed Wing Dynamic Modeling
- FDII computational Modules in Multidisciplinary Design Optimization
- Aeroelasticity in Flight Dynamics

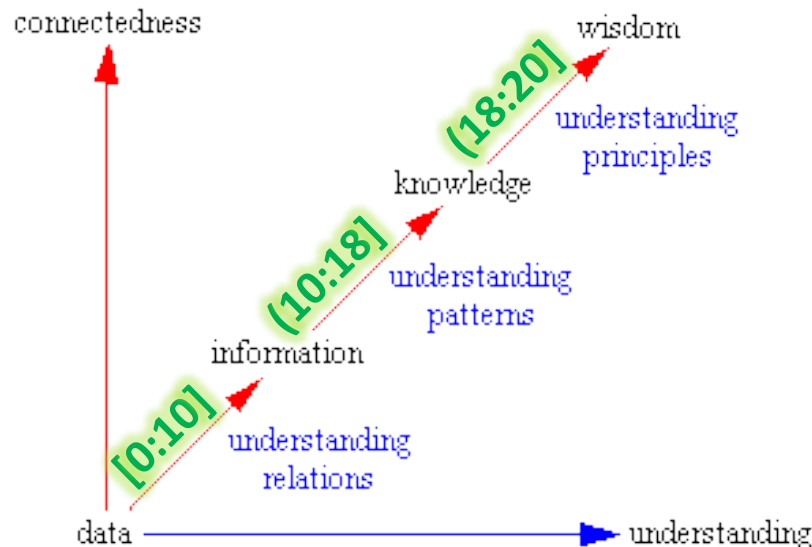
برای فهم چگونگی تحلیل دینامیک پرواز ۲، باید درس را تا انتها دنبال کنید!



## Grading:

The final grade will be calculated as follows:

- 40% Homeworks
- 25% Mid-Term Exam
- 35% Final Exam
- 10% Bonuses and Presence



## Calendar:

1399-11-26	Sunday	1400-02-05	Sunday	
1399-11-28	Tuesday	1400-02-07	Tuesday	
1399-12-03	Sunday	1400-02-12	Sunday	Midterm Exam
1399-12-05	Tuesday	1400-02-14	Tuesday	Public Holiday
1399-12-10	Sunday	1400-02-19	Sunday	
1399-12-12	Tuesday	1400-02-21	Tuesday	
1399-12-17	Sunday	1400-02-26	Sunday	
1399-12-19	Tuesday	1400-02-28	Tuesday	
1399-12-24	Sunday	1400-03-02	Sunday	
1399-12-26	Tuesday	1400-03-04	Tuesday	
1400-01-15	Sunday	1400-03-09	Sunday	
1400-01-17	Tuesday	1400-03-11	Tuesday	
1400-01-22	Sunday	1400-03-16	Sunday	Public Holiday
1400-01-24	Tuesday	1400-03-18	Tuesday	
1400-01-29	Sunday	1400-03-23	Sunday	
1400-01-31	Tuesday	1400-03-25	Tuesday	
		1400-04-07	Monday	Final Exam

## Text Books:

- [1] J. Roskam, *Aircraft Flight Dynamics and Automatic Flight Controls (Part I)*: DAR Corporation, Lawrence, KS, 2003.
- [2] M. Napolitano, *Aircraft Dynamics: From Modeling to Simulation*, 2012.

## Further Readings:

- [3] M. J. Abzug, *Computational flight dynamics*: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998.
- [4] J.-L. Boiffier, *The Dynamics of Flight Equations*: John Wiley & Sons, 1998.
- [5] L. V. Schmidt, *Introduction to aircraft flight dynamics*: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998.
- [6] R. F. Stengel, *Flight dynamics*: Princeton University Press, 2004.
- [7] B. Etkin, *Dynamics of atmospheric flight*: Courier Corporation, 2005.
- [8] P. H. Zipfel, *Modeling and Simulation of Aerospace Vehicle Dynamics, Second Edition*: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [9] M. V. Cook, *Flight dynamics principles: a linear systems approach to aircraft stability and control*: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [10] D. K. Schmidt, *Modern flight dynamics*: McGraw-Hill New York, 2012.
- [11] W. Durham, *Aircraft flight dynamics and control*: John Wiley & Sons, 2013.
- [12] R. Vepa, *Flight Dynamics, Simulation, and Control: For Rigid and Flexible Aircraft*: CRC Press, 2014.
- [13] N. K. Sinha and N. Ananthkrishnan, *Advanced Flight Dynamics with Elements of Flight Control*: CRC Press, 2017.