

## مایلستون اول تنش هابل:

صورت مساله: تفاوت بین مقدار اندازه گیری شده پارامتر از مشاهدات نجومی و مقداری که مدل استاندارد کیهان پیش بینی برای ثابت هابل پیش بینی میکند به تنش هابل معروف است. گروه های رصدی متعددی برای اندازه گیری پارامتر هابل کهکشان ها، سوپرنواها، ... داده گزارش کرده اند که پارامتر هابل مشاهده شده و ردشفت شی کیهانی که به آن نگاه میکنند در رابطه تئوری مدل استاندارد کیهان صدق نمیکند.

استفاده از ماشین لرنینگ به این علت در این مساله کمک کننده است که تابعیت پارامتر هابل از ردشفت را بدون هیچ پیشفرض کیهانی به ما میدهد. به این صورت که داده های خام رصدی را در نظر میگیریم و با استفاده از مدل های رگرسیون مناسب تابعیت پارامتر هابل از کمیت های فیزیکی مرتبط مانند ردشفت را پیدا میکنیم. این امر از نظر فیزیکی بسیار کمک کننده میتواند باشد چرا که دانستن این تابعیت به بهبود بخشیدن مدل استاندارد کمک فراوانی میکند. البته که این قسمت کار به عهده تئوری کارهاست!

توضیح دیتاست: دیتاستی که ابتدا قصد کار روی آنرا داشتیم، دیتاست کروномترهای کیهانی یا cosmic chronometers بود. (در پروژه از دیتاست pantheon استفاده کردیم.) این دیتاست شامل 31 دیتاپوینت است که هر کدام از رصد کهکشانی پیر با نرخ تشکیل ستاره پایین بدست آمده است. نکته جالب این دیتاست این است که همه دیتاپوینت های آن متعلق به یک گروه رصدی نیست و گروه های رصدی فراوانی در آن دخیلند. این دیتاست نتیجه کارهای چند مقاله زیر است:

1. C. Zhang, H. Zhang, S. Yuan, T-J. Zhang and Y-C. Sun, Four new observational  $H(z)$  data from luminous red galaxies in the Sloan Digital Sky Survey data release seven, Res. Astron. Astrophys. 14 (2014) 1221 [arXiv:1207.4541]
2. R. Jim'enez, L. Verde, T. Treu and D. Stern, Constraints on the equation of state of dark energy and the Hubble constant from stellar ages and the CMB, Astrophys. J. 593 (2003) 622 [arXiv:astro-ph/0302560]
3. J. Simon, L. Verde and R. Jim'enez, Constraints on the redshift dependence of the dark energy potential, Phys. Rev. D71 (2005) 123001 [arXiv:astro-ph/0412269]

4. M. Moresco et al., Improved constraints on the expansion rate of the Universe up to  $z \sim 1.1$  from the spectroscopic evolution of cosmic chronometers, J. Cosmol. Astropart. Phys. 1208 (2012) 006 [arXiv:1201.3609]
5. M. Moresco et al., 6% measurement of the Hubble parameter at  $z \sim 0.45$ : direct evidence of the epoch of cosmic re-acceleration, J. Cosmol. Astropart. Phys. 1605 (2016) 014 [arXiv:1601.01701]
6. A.L. Ratsimbazafy et al., Age–dating Luminous Red Galaxies observed with the Southern African Large Telescope, Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 467 (2017) 3239 [arXiv:1702.00418]

این گروه های رصدی ردشیفیت کهکشان را به روش های متداول رصدی میخواندند. برای محاسبه پارامتر هابل، از ردشیفیت یک شی دیگری نزدیک آن استفاده میکردند که عملاً نقش  $dz/dt$  را داشت. سپس  $(1+z)^{-1}$  را در آن ضرب میکردند و پارامتر هابل را میخواندند.

هر دیتاپوینت شامل ردشیفیت کهکشان مورد نظر، پارامتر هابل آن و خطای اندازه گیری (خطای H) است که آن گروه رصدی گزارش کرده است. در واقع دو فیچر و یک لیبل داریم. ردشیفیت (z) و خطای H فیچرهای مساله و همچنین پارامتر هابل لیبل هر دیتاپوینت است.

برای انتخاب صورت مساله و پیدا کردن دیتاست های مربوطه از راهنمایی های آقای علامه و خانم اعتضاد رضوی استفاده کردیم. مطالعه مقالات مربوط را هر سه نفر اعضای گروه انجام دادیم و البته زمان زیادی را صرف انتخاب موضوع کردیم و جلساتی قبل از شروع ترم با افراد مختلف در این رابطه داشتیم. مقاله اصلی ای که توضیحات جامعی درباره مساله تنش هابل و دیتاست های موجود دارد مقاله زیر است که در سال 2018 چاپ شده است:

H<sub>0</sub> from cosmic chronometers and Type Ia supernovae, with Gaussian Processes and the novel Weighted Polynomial Regression method, arXiv:1802.01505

همچنین مقالات زیر نیز مقالات مرتبط به کار ما بودند که به آنها نگاه انداختیم:

No-go guide for the Hubble tension: Late-time solutions,  
arXiv:2107.13286

M. Moresco, Raising the bar: new constraints on the Hubble  
parameter with cosmic chronometers at  $z \sim 2$ , Mon. Not. Roy. Astron.  
Soc. 450 (2015) L16–L20, [arXiv:1503.01116]

در این دیتاست بدلیل وجود یک فیچر، ماتریس و تابع correlation بدیهی خواهد بود.  
همچنین نمایش histogram داده ها نیز بدلیل وجود 31 دیتاپوینت و داشتن مقادیر مختلف، بی  
مفهوم خواهد بود.  
در دیتاست مذکور هیچگونه missing value ای وجود ندارد و بدلیل اینکه همه مقادیر عددی  
هستند، نیازمند تغییر دیتاها به دیتای numeric نیست.