



۱. در فایل *data sets* که در اختیار تان قرار گرفته است، داده های مربوط به فاصله و سرعت دور شدن ۳۰ ابرنواختر از ما را مشاهده میکنید. هم چنین در ستون سوم، خطای مربوط به اندازه گیری سرعت ابرنواخترها نوشته شده است. (لازم به ذکر است که داده ها به صورت رندوم تولید شده و در فایلی به شماره دانشجویی هر شخص نوشته شده اند.) با توجه به فایل مربوط به آنالیز داده با استفاده از تابع جریمه (پیوست ۱)، به سوالات زیر پاسخ دهید.

۱-۱. بهترین مقداری که برای ثابت هابل با استفاده از این داده ها تخمین میزنید چقدر است؟ جواب خود را به همراه نایقینی مربوطه گزارش دهید.

دستور کار: ابتدا تابع جریمه را به صورت تابعی از  $H_0$  تعریف کنید و پس از جایگذاری مقادیر سرعت، خطای سرعت، و فاصله ابرنواخترها، معادله دیفرانسیل مربوطه را به ازای مقداری از  $H_0$  که منجر به کمینه شدن تابع جریمه می شود حل کنید. حال کافیت مقادیر نایقینی  $\delta H$  را پیدا کنید. برای این منظور، همانطور که در پیوست گفته شده بود باید  $\Delta\chi^2 = 1$  باشد، که  $\Delta\chi^2$  تفاوت مقدار تابع جریمه در دو حالت است: حالت اول زمانیست که متغیر ما  $H_0 + \delta H$  باشد و حالت دوم زمانیست که متغیر ما تنها همان  $H_0$  باشد. با حل معادله مربوطه، مقادیر مثبت و منفی  $\delta H$  را خواهید یافت که بازه نایقینی را مشخص می کنند.

۱-۲. اگر که فرض کنیم سرعت تابعی خطی از فاصله ابرنواختر از ما نباشد و تابعی درجه دو به صورت  $v = H_0 d + H_1 d^2$  باشد، بهترین مقداری که می توانید برای  $H_1$  تخمین بزنید را بیابید و آن را همراه با نایقینی مربوطه گزارش دهید. همچنین به سوالات زیر پاسخ دهید:

▪ در اینجا ضریب  $d^2$  مشخص کننده چه چیزی می تواند باشد؟

▪ آیا می توان  $v$  را تا مراتب بالاتری از توان های  $d$  نوشت؟ توضیح دهید.

دستور کار: در این حالت نیز مشابه سوال قبل عمل میکنید، با این تفاوت که این بار تابع جریمه تابعی دو متغیره از  $H_0$  و  $H_1$  می باشد. همچنین توجه کنید که در اینجا چون دو پارامتر آزاد داریم،  $\Delta\chi^2 = 2.3$  خواهد بود.

۱-۳. نمودار سرعت بر حسب فاصله و خط فیت شده به هر کدام را در هر دو حالت رسم کنید. سپس با توجه به نمودار و نایقینی های مربوطه، نتیجه بگیرید که کدام مدل بهتر کار میکند.

۲. در فایل دیگری به نام فایل *real-data*، داده های مربوط به سرعت و فاصله دور شدن ۴۲۴۰ کلهکشان از ما را مشاهده می کنید که این داده ها از سایت HyperLeda حاوی داده های فیزیکی کلهکشان ها، استخراج شده اند. با توجه به فایل حذف داده های خارج از محدوده (پیوست ۲)، به سوالات زیر پاسخ دهید.
- ۲-۱. ثابت هابل را با استفاده از داده هایی که در اختیارتان قرار گرفته است و بدون اعمال محدودیت روی داده های خارج از محدوده، به دست آورید و نمودار سرعت بر حسب فاصله را رسم کنید. آیا مقدار  $H_0$  به مقداری که انتظار دارید نزدیک است؟
- ۲-۲. این بار با استفاده از یکی از روش هایی که می توان با آن ها تاثیر داده های خارج از محدوده را کم تر کرد، ثابت هابل را محاسبه کنید و نتیجه خود را با قسمت پیشین مقایسه کنید. همچنین، عمر عالم را هم در این حالت گزارش دهید.