۷۹۱۸

دانشگاه تهران

دانشکده علوم

پایان نامه

برای دریافت درجه فوق لیسانس فیزیک (هواشناسی)

موضوع

انتقال مسان سینوپتیک

نگارش

ابوالقاسم شهابی زاد

دیماه ۱۳۴۸

قبل از هرچیز از اساتید محترم که در امر تعلیم و
راهنمائی دانشجویان کوشش فراوانی مبذول
داشته و زحمات جبران ناپذیر متحمل گردیده اند
بی اندازه تشکر میکنم .

۶۹۱۸

فهرست مطالب

موضوع	صفحه
مقدمه ـ تعادل مان سینوپتیک	۹ـ۱۹
محاسبات ماه جولای	۱۰ـ۲۷
گرانهای ماه جولای	۱۷ـ۲۰
محاسبات زانویه و نوریه	۲۱ـ۳۶
گرانهای زانویه و نوریه	

قسمتهای اول این پایان نامه از کتاب هواشناسی هس Hess ترجمه شده است.

مقدمه

بطورخلاصه موضوع این پایان نامه بررسی انتقال ممان‌سنتیک درسطوح‌هم فشار ایستگاههای عدن وبحرین ورسم گرافهای تغییرات (Ω و V ، V و U و Ω^2) میباشد .

این محاسبات وترسیمات برمبنای اندازگیریهای مولفه های باد درسطح هم فشار ـ ۱۵۰ میلیباری ایستگاه عدن درماه ژولای ودرسطح ۲۰۰ میلیباری ایستگاه بحرین درماههای ژانویه‌وفوریه میباشد . اکنون بمنظور دانستن نحوه کاربرد این محاسبات میپردازیم بتوضیح انتقال ممان‌سینتیک) .

تعادل گشتاورجنبشی Argular Momentum Balance

گشت آورجنبشی مطلق برای واحد جرم هوابراست با

$$m = (\Omega a \cos\varphi + u) a \cos\varphi$$

$$m = a^2 \Omega \cos^2\varphi + a u \cos\varphi \qquad (1)$$

جمله اول طرف راست معادله (۱) چندی حرکت Ω Momentum Ω نامیده میشود ونمایشگر گشت آورجنبشی بعلت چرخش زمین است جمله دوم درطرف راست معادله (۱) چندی حرکت نسبی نامیده میشود ونمایش گشت آورجنبشی بعلت حرکت مداری هوانسبت بزمین ا بزمین است . ازقانون دوم حرکت نیوتن لازم است که تغییرات ممان سنتیک نسبت بزمان بعلت اثرترک ها باشد (مذکورازترکهانیروهای مماسی هستند که دارای گشتاور نسبت بمحور ـ چرخش باشند) ترکهای ممکن دراثرگرادیان فشار شرقی غربی واصطکاک میباشند ترک گرادیان فشار برای واحد جرم هوا عبارت است از $-\alpha \frac{\partial p}{\partial \alpha} \cos\varphi$ ـ وترک اصطکاک برای واحد جرم ـ

عبارت است از $F_x a \cos\varphi$ بنابراین

$$\frac{dm}{dt} = \left(-\kappa \frac{\partial \pi}{\partial x} + F_x\right) a \cos\varphi \quad (۲')$$

درحقیقت رابطه فوق نمی مخصوصی ازمعادله حرکت درجهت میباشد هرگاه دوطرف معادله

فوق رادر ρ ضرب کنیم خواهیم داشت

$$\rho \frac{dm}{dt} = \left(-\frac{\partial \pi}{\partial x} + \rho F_x\right) a \cos\varphi \quad (۲)$$

طرف چپ رابطه (۲) میتوان چنین نوشت

$$\rho \frac{\partial m}{\partial t} + \rho u \frac{\partial m}{\partial x} + \rho v \frac{\partial m}{\partial y} + \rho w \frac{\partial m}{\partial z}$$

$$\rho \frac{dm}{dt} = \frac{\partial(\rho m)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u m)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v m)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w m)}{\partial z}$$

$$- m \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z}\right]$$

اما ازمعادله پیوستگی نتیجه میشود که جملات داخل کروشه صفراست بنابوریکه معادله (۲) را

میتوان چنین نوشت $-\frac{\partial \pi}{\partial x} a \cos\varphi + \rho F_x a \cos\varphi$

$$(۳') \quad \frac{\partial(\rho m)}{\partial t} = -\left[\frac{\partial(\rho u m)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v m)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w m)}{\partial z}\right]$$

رابطه فوق سرعت تغییرمحلی ($\frac{\partial}{\partial t}$) گشتاور جنبشی مطلق را برای واحد حجم

نشان میدهد اگرازمعادله (۳) درمورد حجم اتمسفر بطرف قطب درعرض جغرافیائی

انتگرال بگیریم چنین خواهیم داشت

$$(۴) \quad \frac{\partial}{\partial t}\int \rho m \, dV = -\int \rho m v_n \, d\sigma - \int a \cos\varphi \frac{\partial \pi}{\partial x} dV + \int \rho F_x a \cos\varphi \, dV$$

کمیت اینجا V_n مؤلفه سرعت عمود برروبه σ است که این رویه حجم V را محدود نموده وبطرف

خارج متوجه است.

$d\sigma$ المان مساحتی از سطح σ وانتگرال حجمی داخل کروشه معادله (۳) بنابه دستور گوس ($\int\int\int div\, a\, d\tau$) بانتگرال سطحی تبدیل میشود .

حجم V توسط سطح زمین وقله جو ویك سطح عمود ی در عرض جغرافیائی φ_1 محدود گردیده سهم انتگرال نخست درطرف راست معادله (٤) بایستی درطول سطح زمین برابر صفر باشد زیرا شرایط مرزسینماتیك ایجاب میکند که مؤلفه سرعت بایستی درمرز جامد زمین صفر باشد دخالت این انتگرال در قله جونیز بایستی صفر باشد زیرا درقله جو $\rho = 0$ بنابراین تنها ازمؤلفه عمودی سرعت برسطح قائم بر مدار φ_1 این انتگرال میتواند سهمی داشته باشد اگر V_n مثبت باشد این بردار متوجه بطرف خارج حجم بوده یعنی بطرف خط استوا متوجه است این بردار گشتاور جنبشی واحد حجم (ρm) را بخارج ازحجم منتقل کرده وسبب نقصان این مقدار درحجم مذکور میگردد واین موضوع توسط علامت ($-$) نشان داده شده بدینطریق میتوان نتیجه گرفت که این جمله ، جمله انتقال نصف النهاری است .

جمله ثانی طرف راست معادله (٤) را میتوان بصورت $-\int\int\int a\cos\varphi \frac{\partial \pi}{\partial x}\, dx\,dy\,dz$ نوشت هرگاه عمل انتگرال گیری نسبت به x انجام دهیم و y و z ثابت نگاهداریم چنین خواهیم داشت .

$-\int\int (a\cos\varphi \Delta\pi)\, dy\,dz$ - اگر سطح کرمزمین کاملا افقی میبود $\Delta\pi$ مساوی صفر میشد زیرا اگر ازمقدار $\frac{\partial \pi}{\partial x}$ درحول یکمدار جغرافیائی انتگرال بگیریم نتیجه صفر خواهد شد ولی اگر کوههایی موجود باشند لازم نیست که فشار درطرف مغرب با فشار درطرف مشرق کوه یکی

باشد بنابراین لازم نیست که Δx برابر صفر باشد ۰ این جمله نمایشگر کی است که از توزیع نامتقارن فشار در اطراف سد های کوهستانی ایجاد میشود وممکن است آنرا تحت فشار بعلت وجود کوهستان نامید ۰

در بحث جمله سوم طرف راست معادله (٤) بایستی بخاطر داشت که نیروی مماسی که بر واحد جرم هوا وارد میشود اصولا بصورت $F_x = \varkappa \frac{\partial \tau}{\partial z}$ نمایش داده میشود که در اینجا τ استرسهای شرقی غربی ادی میباشد در نتیجه این جمله بصورت زیر در خواهد آمد ۰ $\int \rho F_x \alpha \cos\varphi \, dv = \iiint \alpha \cos\varphi \frac{\partial \tau}{\partial z} dx dy dz$

هرگاه نسبت به z انتگرال بگیریم و $\varkappa$ و ρ را ثابت نگاهداریم چنین خواهیم داشت ۰

$$\int F F_x \alpha \cos\varphi \, dv = \iint (\tau \alpha \cos\varphi) \, dx dy$$

در اینجا بایستی انتگرال سطحی را در مرز تحتانی محاسبه کرد زیرا τ در سطح فوقانی جو برابر صفر است ۰ چون استرسی که بر روی هوا اثر میکند مخالف جهت باد است این جمله برای باد های مثبت (باد های غربی) منفی و برای باد های منفی مداری (باد های شرقی) مثبت است ۰ بنابراین ۰ این جمله عبارت است از ترک نیروی اصطکاک که Frictional Torque - Term نامیده میشود ۰ در عرضهای متوسط جغرافیائی دیده میشود که مقدار آنها از جوگشتاور جنبشی استخراج کرده وسطح زمین از طریق جمله ترک اصطکاکی گشتاور جنبشی را از هوا اخذ مینماید ۰ اگر باد های غربی نبایستی پس از مدت زمانی از بین برود این گشتاور جنبشی بایستی

بتوسط جمله دیگر معادله یعنی جمله انتقال بتوسط نصف النهار جبران شود حال برای اینکه ببینیم این تعادل ایجاد میشود یا بستگی جمله انتقال را بسط دهیم.

ازبحث قبلی درباره این جمله میدانیم تنها راهی که ممکن است انتقال بداخل این عرقچین قطبی انجام گیرد درسطح عمودی است که به عرقچین قطبی در عرض جغرافیائی φ_1 را تشکیل میدهد بنابراین جمله انتقال ازنصف النهار را ممکن است بصورت زیر نوشت

$$-\iint \rho m V_n \, d\sigma = \iint \rho m v \, dx \, dz$$

دراین رابطه v سرعت نصف النهاری متوجه بشمال است کمازلحاظ علامت مخالف سرعت V_n است کمدر نیمکره شمالی بطرف خارج متوجه است این معادله را نیز میتوان چنین نوشت.

$$\int \rho m V_n \, d\sigma = \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \rho m v a \cos\varphi \, d\lambda \, dz$$

$$= a^2 \cos^2\varphi \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} (u + a\omega\cos\varphi) \rho v \, d\lambda \, dz$$

کمدراینجا $d\lambda$ المان طول جغرافیائی است حال ازمعادله هیدروستاتیک $\rho \, dz = -\frac{dp}{g}$ استفاده کرده ومقدارمتوسط متغیرهارا حول یک مدارحساب میکنیم جمله انتقال بصورت زیر درمیآید.

$$\frac{2\pi a^2 \cos^2\varphi}{g} \int_0^{p_0} (\overline{uv} + \overline{2va\omega\cos\varphi}) \, dp = \frac{2\pi a^2 \cos^2\varphi}{g} \int_0^{p_0} (\overline{u}\,\overline{v} + \overline{u'v'} + a\omega\overline{v}\cos\varphi) \, dp \qquad (۵)$$

دراین رابطه p_0 فشار درارتفاع $z = 0$ و $\overline{uv} = \overline{u}\,\overline{v} + \overline{u'v'}$ زیرا اگر ازانحراف (کمابپریم نشان داده میشود) مقدارمتوسط بگیریم برابر صفر میشود. جمله های داخل انتگرال طرف راست معادله (۵) عبارتند از.

$\overline{u}\,\overline{v}$ که جمله شناوری یا Drift و $\overline{u'v'}$ جمله فلوی ادی Eddy fluxterm

و جمله $\Omega\,\overline{v}\,\frac{\partial}{\partial y}$ را جمله انتقال در اثر Ω Transport-Term

مینامند • جمله اول را بدینجهت جمله Drift نامند که $\overline{v}$ نمایش Drift

نصف النهاری است که غیر ژئوستروفیك میباشد اگرچنین جریان نصف النهاری در یك لایه

وجود داشته باشد ممان سینتیك جریان متوسط مداری را منتقل کرده و در نتیجه ایجاد فلوی

ممان سنتیك بطرف غرقچپ ن قطبی مینماید •

جمله دهم بدینجهت فلوی ادی نامیده میشود که نمایش انتقال چندی حرکت ادی مداری بترسط

ادیهای نصف النهاری است • این جمله معمولا صفر خواهد بود مگر اینکه یك همبستگی u' و v'

وجود داشته باشد •

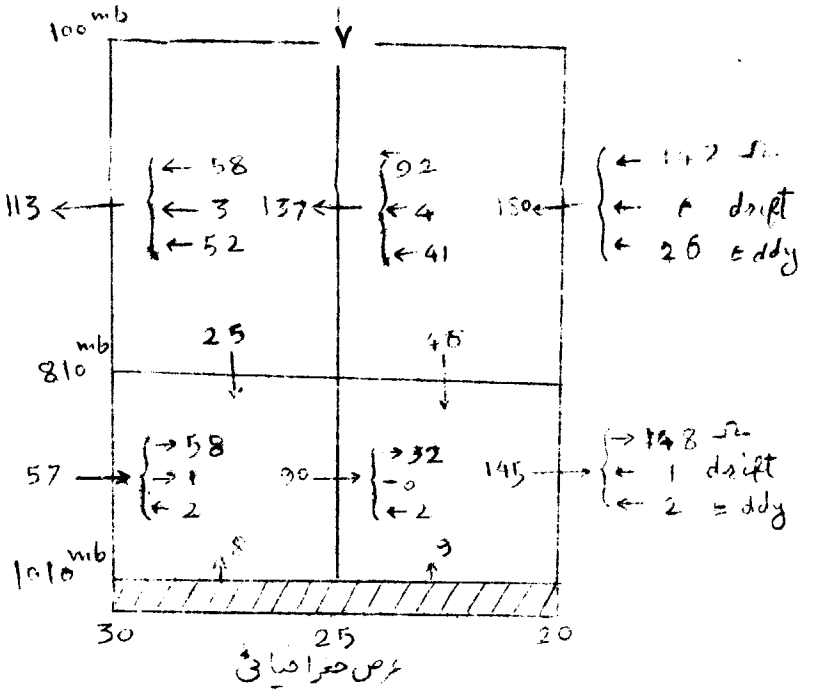
و بالاخره جمله سوم را بدینجهت جمله Ω نامند که نمایش فلوی نصف النهاری ممان سنیتیك چرخش

زمین بوسیله سرعت متوسط نصف النهاری $\overline{v}$ است •

و انتقال متوسط ممان سینتیك را توسط هرسه این جملات در ماژانوسه

در منطقه تحت استوایی subtropics محاسبه نمودند نتیجه محاسبه

در شکل صفحه بعد نمایش داده شده است •



عرض جغرافیائی

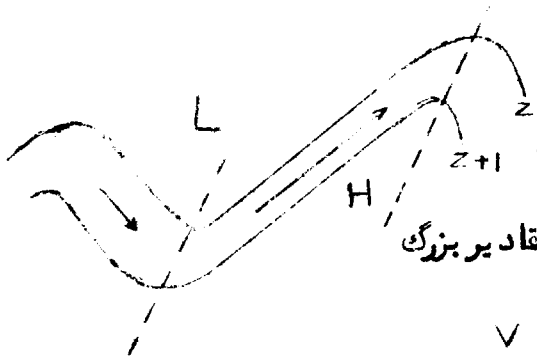
محاسبه تغییرات متوسط انتقال عرضی وعمودی ممان سینتیك مطلق در نواحی استوائی — واحد این کمیت برابر است با 10^{25} گرم سانتیمتر ^{2} ثانیه $^{-1}$

و Yeh, Richl انتقال متوسط ممان سنتیك را بوسیله این سه جمله در ماه ژانویه محاسبه کرده اند چون حرکت نصف النهاری در حال حاضر در لایه های پائین موجود است زیرا بحد کافی اطلاعات جو بالا موجود نیست فرض میکنیم انتقال نصف — النهاری در مجاورت سطح زمین ، با ارتفاع بطور خطی نقصان یافته ودر ۲۰۰ میلیباری در بالای سطح زمین این مقدار صفر شود . برای اینکه پیوستگی جرم حفظ گردد فرض میکنیم جریان بازگشتی جبران کننده ای از سطح ۸۱۰ میلیبار تا سطح هم فشار ۱۰۰ میلیبار در نزدیکی تروپوپوز موجود است بنابراین شکل فوق بدو قسمت تقسیم میشود که یك قسمت کم عمیق بوده ودر پائین قرار دارد ودیگری قسمت عمیقی است که در بالا واقع است وبرای هر لایه وبرای هر سه عرض جغرافیائی مقدار انتقال محاسبه شده بوسیله هر سه عامل وانتقال کل داده شده علاوه براین انتقال

مالشی بعلت بادهای شرقی در سطح زمین نشان داده شده است وفلوی عمودی که بایستی ازسطح ۸۱۰ میلیبار عبورکند ودرلایه پائین ایجاد تعادل نماید نیزدیده میشود این فلوهای عمومی تقریبا همان فلوهایی هستند که لازمند درلایه بالائی ایجاد تعادل نمایند وانحرافات کوچك ازتعادل درلایه بالائی درحد خطای محاسبه انتقال افقی میباشد . این اطلاعات بطورواضح نشان میدهند که درلایه های پائین تروبیهرفته انتقال ممان — سنیتیك بطرف است واوبیشتر دراثر انتقال توسط جمله ~ است این انتقال بعلت بادهای تجارتی ثابت شمال شرقی است ، درلایه بالا رویهرفته انتقال بطرف قطب میباشد که قسمت اعظم آن بعلت جمله انتقال ~ توسط جریان بازگشتی است ولی جمله فلوی عادی نیز سهم قابل توجهی است نتیجه میگیریم که سیرکولاسیون نصف النهاری متوسط درناحیه Subtropi دارای اهمیت زیادی است اما اختلاط افقی بمقیاس بزرگ درتروپوسفر میانی حتی درعرضهای جغرافیائی پائین نیز دارای اهمیت است درعرضهای جغرافیائی بالاتر محتملا قسمت اعظم انتقال توسط جمله عادی انجام میگیرد اگر فرضیه ژئوستروفیك صادق باشد $\bar{V} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v\,d\lambda$ بصورت $\bar{V} = \frac{g}{2\pi f a\cos\varphi}\int_0^{2\pi}\frac{\partial\zeta}{\partial\lambda}\,d\lambda = 0$

بنابراین فرضیه ژئوستروفیك خود سبب میشود که جمله Drift وانتقال ~ صفر شده وجمله فلوی عادی تنها عامل انتقال ممان سینتیك باشد بنابراین فرضیه ژئوستروفیك طریقه مناسبی برای جداکردن جمله فلوی عادی است وتعیین اینکه آیا این جمله تنها برای انتقال مشاهده شده کافیست یا خیر .

اگر فلوی ادی ژئوستروفیك عامل اصلی انتقال باشد نتیجه گیری ساده ای درمورد طرحهای سینوپتیکی که ایجاد فلوی ممانتم سینتیك بطرف قطب میکنند بدست میآید اگر $\overline{u'v'}$ مثبت باشد فلو بطرف قطب میباشد یعنی بایستی در نقاطی که فلوی قوی بطرف قطب موجود است جریان مداری قوی نیز برقرار باشد چنین هم بستگی بین u' و v' وجود خواهد داشت (هم بستگی بزرگ ونزدیك بواحد) اگر محور ترافها وریجهای ایزوبارها وکنتورها در نقشه Pattern های جو بالا تصادفی نبوده بلکه در نیمکره شمالی از شمال شرق بطرف جنوب غرب بطوریکه در شکل نشان داده شده در چنین شرایطی گرادیانهای فشار قوی در شرق ترافها وگرادیان



های فشار ضعیف در غرب ترافها است یعنی مقادیر بزرگ مقادیر بزرگ ومثبت u در جاهائیست کـــه v مثبت است در صورتیکه مقادیر کوچك ومثبت u در جاهائی است که v منفی است بطوریکه مجموع $\overline{u'v'}$ در حول یك مدار جغرافیائی مثبت خواهد بود .

تجربیات سینوپتیکی نشان میدهد که طرحی که در شکل زیر بالا نشان داده شده طرحی است که بیشتر اوقات در عرضهای جغرافیائی متوسط موجود است بدین طریق اغتشاشات بادهای غربی در عرضهای جغرافیائی متوسط بایستی مقداری از ممانتم سینتیك را توسط جمله فلوی ادی بطرف قطب انتقال دهد .

ایستگاه عدن — سال ۱۹۶۲ — Aden- July

سطح ۱۰۰ میلی‌بار — ماه جولای — N = 2

No	V	u	vu	$\bar{v}$	$\bar{u}$	$\overline{vu}$	$\overline{vu}$	$\bar{u}'\bar{v}' = X$	X^2
1	2	65	130	-2	65	-97	-130	33	1089
	-5	65	-325						
2	-12	65	-792	-4	58	-298	-232	-66	4356
	4	49	196						
3	-30	51	-1530	-20	50	-1034	-1000	-34	1156
	-11	49	-539						
4	-16	69	-1104	-10	65	-672	-650	-22	484
	-4	60	-240						
5	-18	80	-1440	-15	73	1077	-1095	18	324
	-11	65	-715						
6	13	76	-988	-7	71	-526	-487	-29	841
	-1	65	-65						
7	-19	55	-1054	-7	57	-373	-399	24	576
	5	59	295						
8	-23	79	-1817	-5	72	-479	-360	-119	14161
	13	66	858						
9	-13	76	-988	-5	67	-436	-335	-101	10201
	2	58	116						
10	-5	76	-380	5	70	330	350	-20	400
	16	65	1040						
11	-10	58	-580	-13	63	-826	-819	-7	49
	-16	67	-1072						
12	-20	88	-1760	-15	81	-1213	-1215	2	4
	-9	74	-666						
13	-14	81	-1134	-6	82	-441	-492	51	2601
	3	84	252						
14	7	52	364	3	61	146	183	-37	1369
	-1	71	-71						
15	-1	81	-81	4	71	200	284	-84	7056
	8	60	480						
16	-11	61	-671	-15	64	-972	-960	-12	144
	-19	67	-1273						
17	-18	63	-1134	-14	66	-377	-924	47	2209
	-9	69	-621						

18	-4	54		-1	60	-43	-60	17	289
	2	65	130						
19	2	68	136	5	58	284	290	-6	3 6
	9	48	432						
20	-3	41	-123	-4	34	-131	-136	5	25
	-5	28	-140						
21	-10	30	-300	-7	41	-256	-287	31	961
		53	-212						
22	-22	37	-814	-11	35	-390	-385	-5	25
	1	33	33						
23	5	37	185	9	30	248	270	-22	484
	13	24	312						
24	-14	11	-154	-8	18	-116	-144	28	784
	-3	26	-78						
25	-1	26	-26	-14	35	-418	-490	72	5184
	-18	45	-810						
26	-23	67	-1541	-3	65	-1022	-975	-47	2209
	-8	63	-504						
27	-15	53	-795	-11	54	-590	-5	04	16
	-7	55	-385						
28	-1	58	-58	1	51	15	51	-36	1296
	2	44	88						
29	-11	65	-715	-9	62	-560	-558	-2	4
	-7	58	-406						
30	-11	49	-539	-1	56	19	-56	75	5626
		64	576						
31	-4	59	-236	-1	53	-70	-53	-17	289
	2	48	96						

$\bar{x}=-8.4$ $\bar{x}^2=2072.5$

$\sigma^2 = \bar{x}^2 - \bar{x}^2 = 2072.5 - 70.5 = 2002$

Aden–July

ایستگاه عدن ماه جولای

سطح ۱۵۰ میلی‌بار سال ۱۹۶۲

No	$\bar{V}$	$\bar{u}$	$\overline{vu}$	$\overline{\bar{v}\bar{u}}$	$\overline{u'v'}=x$	x
1	-5	65	-32 9	-325	-4	16
2	-12	50	-624	-600	-24	576
3	-13	70	-928	-910	-18	324
4	-8	69	-589	-552	-37	1369
5	-12	64	-856	-768	-88	7744
6	1	67	-5	67	-72	5184
7	o	66	27	o	27	729
8	-15	76	-1166	-1140	-26	676
9	-1	72	-173	-72	-101	10201
10	2	71	109	142	-33	1089
11	-16	64	-1026	-1024	-2	4
12	-4	63	-236	-252	16	256
13	3	52	148	156	-8	64
14	-6	37	-217	-222	5	25
15	-5	36	-199	-180	-19	361
16	-1	20	27	-20	47	2209
17	-17	46	-792	-782	-10	100
18	-10	57	-561	-570	9	81
19	-3	57	-123	-171	48	2304
20	-3	56	-228	-168	-60	3600

$\bar{X}= -17.5 \quad \bar{X}^2=1845.6$

$\sigma^2 = \bar{X}^2 - \bar{\bar{X}}^2 = 1845.6-306=1539.6$