فرآوري آنتيموان كلاته چوبك

شركت توسعه علوم زمين

منوچهر اوليازاده

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	1
آماده سازي نمونه	1
نتايج آناليز سرندي	2
فصل دوم	4
بررسي نتايج تجزيه عناصر	4
شرح روش آزمايش	5
پاراژنز و مطالعات كاني سازي	5
فصل سوم	8
تغليظ ثقلي	8
فلوشيت فرآوري	12
فلوتاسيون	14
نمودار بازيابي آنتيموان	18

فرآوري آنتيموان كلاته چوبك

فصل اول

آماده سازي نمونه:

نمونه هاي ارسالي پس از خردايش در سنگ‌شكن‌هاي اوليه و ثانويه فكي در مسير باز به سنك‌شكن استوانه‌اي وارد شد و در يك مسير بسته با سرند آزمايشگاهي 6 مش مورد خردايش قرار گرفت. تقسيمات متوالي با تقسيم كن ريفل به منظور بدست آوردن نمونه‌هاي 1 كيلوگرمي معرف انجام شد و نمونه‌هاي معرف به تعداد كافي تهيه شد.

يك نمونه مورد تجزيه سرندي قرار گرفت كه نتيجه آن در زير آمده است. همچنين يك نمونه جهت تجزيه كامل به آزمايشگاه شركت توسعه علوم زمين ارسال گرديد كه جواب آن پس از 13 هفته به صورت ذيل ارسال شد.

SiO_2%	Al_2O_3%	Fe_2O_3%	CaO%	MgO%	P_2O_5%	MnO%	SO_3%
۱/۸	n.d	۰/۷۸	۳۱/۸۴	۱۲/۳۵	۱/۴۷	۰/۱۳	۲/۰۶

K_2O%	Na_2O%	نامحلول در اسید	L.O.I%
۰/۰۹	۰/۱۳	۲/۲۱	۲۰/۰۱

تجزيه بقيه عناصر در آزمايشگاه شركت توسعه علوم زمين انجام شد كه در زير آورده شده است:

Au	As	Sb	Hg	Cu	Pb
0/0014	86/2	341850	0/1	8/00	15/0ppm

نتايج آناليز سرندي :

شماره مش	باقیمانده روی سرند (٪)	درصد تجمعی باقیمانده روی سرند
۶	۰	۰
۱۲	۲۲/۹	۲۲/۹
۲۰	۲۸/۳	۵۱/۲
۳۰	۹/۴	۶۰/۶
۵۰	۱۳/۵	۷۴/۱
۷۰	۵/۰	۷۹/۱
۱۰۰	۴/۳	۸۳/۴
۲۰۰	۶/۶	۹۰/۰
pan	۱۰/۰	۱۰۰/۰

هر بخش ابعادي حاصل از تجزيه سرندي به طور جداگانه براي تعيين مقادير Sb و Au اندازه گيري شد كه نتايج آن به شرح زير است:

	Au ($\mu g/g$)	Sb ($\mu g/g$)
MA-T-P	۰/۰۱۱	۳۸۹۵۵۰
MA-T-12	۰/۰۰۰۷۳	۳۵۵۱۰۰
MA-T-20	۰/۰۰۱۱	۲۹۱۵۰۰
MA-T-30	۰/۰۰۱۴	۳۵۷۷۵۰
MA-T-50	۰/۰۳۶	۳۴۱۸۵۰
MA-T-70	۰/۰۰۳۴	۲۵۴۴۰۰
MA-T-100	۰/۰۰۳۰	۲۹۱۵۰۰
MA-T-200	۰/۰۰۱۴	۳۰۱۲۱۰

با توجه به وزن هر بخش مي‌توان يك عيار ميانگين وزن‌دار بدست آورد و با نمونه MA-T-M1 كه 34%/185 آنتيموان گزارش شده بود مقايسه كرد.

32%/774 = وزن كل / (وزن همان بخش) × (درصد آنتيموان هر بخش) = عيار ميانگين وزن‌دار

مقايسه اين دو عدد 4% اختلاف نشان مي‌دهد كه قابل چشم‌پوشي است.

از نمونه‌هاي ارسالي چند قطعه براي مطالعات مينرالوگرافي ارسال شد و هر بخش ابعادي جداگانه بررسي شد.

مطالعات مينرالوگرافي نشان داد كه كاني اصلي اوليه استيبنيت مي‌باشد و كاني‌هاي فرعي و جزئي اوليه عبارتند از سينابر، اكسيد آنتيموان و احتمالاً برتيريت باطله اصلي اوليه نيز كلسيت و كمي دولوميت و باطله فرعي اوليه كوارتز مي‌باشد. كاني ثانويه ژيپس و اخراي آنتيموان مي‌باشد.

اوليه :

كاني اصلي : استيبنيت

كاني فرعي و جزئي : سينابر، اكسيد آنتيموان، احتمالاً برتيريت

باطله اصلي: كلسيت و كمي دولوميت

باطله فرعي: كوارتز

ثانويه : ژيپس به مقدار ناچيز و اخراي آنتيموان

همچنين بافت‌هايي كه براي استيبنيت مشاهده شده، شعاعي، تيغه‌اي، سوزني، لاملاهاي پيچيده، اتومورف و نيمه اتومورف بودند.

يك نمونه هم جهت آناليز ميكروپروب به سازمان زمين‌شناسي فرستاده شده كه نتيجه آناليز ميكروپروب در فصل بعدي خواهد آمد. همچنين نمونه‌هاي 1 كيلوگرمي معرف آماده‌سازي شده توسط ميزلرزان جيگ و MGS فرآوري شده‌اند و نتايج بسيار خوبي حاصل شده است كه در فصل بعدي مي‌آيد. با توجه به مطالعه كاني‌شناسي و مقادير طلا در تجزيه، وجود طلا در ماده معدني كاملاً مردود است.

فرآوري آنتيموان كلاته چوبك

فصل دوم

بررسي نتايج تجزيه عناصر:

در فصل گذشته نتايج تجزيه آنتيموان در يك نمونه معرف و هشت بخش ابعادي آورده شد. مقادير بدست آمده از روش جذب اتمي به علت بزرگ بودن داده‌ها از خطاي چشمگيري برخوردار بود.

بنابراين ترجيحاً از روش تيتراسيون استفاده شد. اين مطلب توسط اجراي آزمايشات بهينه‌سازي و ارائه فلوشيت فرآوري به اثبات رسيد.

چهارده عدد از اين نمونه‌هاي براي آناليز دو عنصر آنتيموان و ارسنيك به شركت توسعه علوم زمين ارسال شد و در نهايت اين شركت پس از گذشت 10 هفته نتايج آناليز را چنين گزارش كرد:

جدول ۱

	%As	%Sb
MA-12-C	۱/۹۴	۶۳/۷۵
MA-12-T	۰/۰۲	۵۷/۷۵

[redacted]

شرح روش آزمايش:

در آزمايش ثقلي نمونه‌ها پس از طي عمل خردايش به دو گروه ابعادي زير مش 6 و بالاي مش 12 تفكيك شد. با بهينه‌سازي مشاهده چشمي و ميكروسكوپي و جداسازي كنسانتره و باطله و استفاده از ميز لرزان اين نمونه ها در شماره‌هاي MA-12-C و MA-12-T (كنسانتره و باطله) قرار گرفتند. در نهايت مقدار آنتيموان در كنسانتره 63/75% و در باطله 57/75% گزارش د.

شركت توسعه علوم زمين مقدار آنتيموان را در همين بخش ابعادي (زير مش 6 و بالاي مش 12) و با كد MA-12-T ، 35%/51 گزارش كرد.

با توجه به اينكه بار ورودي 35/51% آنتيموان داشته است اين نتايج جاي شبه دارد.

فرآوري آنتيموان كلاته چوبك

فصل سوم

تغليظ ثقلي:

بار ورودي پس از سنگ‌شكني به 4 بخش زير تقسيم شد و روي هر بخش به طور جداگنه كار شد. بخش 1 كه شامل ذرات كوچكتر از 6 مش و بزرگتر از 12 مش بود در جيگ دنور و ميز لرزان مورد آزمايش قرار گرفت. پس از انجام آزمايشات لازم جهت بهينه‌سازي، بهترين جوابي كه در ميز لرزان بدست آمد با نتايج حاصل از جيگ دنور مقايسه شد كه نشان‌دهنده مزيت استفاده از جيگ براي اين بخش بود:

شرايط بهينه ميز لرزان :	نمونه	عيار(%Sb)
	كنسانتره	58/25
	باطله	18/68

(R = بازاريابي) R= 54/%17

شرايط بهينه جيگ دنور :	نمونه	عيار (%Sb)
	كنسانتره	58/10
	باطله	11/43

R= 734/%16

ضريب غني‌سازي (E_R) در شرايط بهينه جيگ برابر 2/04 مي‌باشد.

اين شرايط بهينه در جيگ با دبي آب برابر 3/1 ليتر در دقيقه بدست آمده است. نتايج آزمايش‌ها با دبي‌هاي مختلف براي بخش 1 در زير باهم مقايسه شده‌اند.

دبی آب (لیتر در دقیقه)	۲/۸	۳/۱	۳/۷
راندمان (٪)	۵۰/۱۴	۷۳/۱۶	۶۲/۹۰
عیار کنسانتره (٪)	۵۸/۷۱	۵۸/۱۰	۵۷/۰۳

با ادامه آزمايش‌هاي تكميلي سرعت باردهي و عوامل مؤثر ديگر جيگ نيز براي بخش بهينه شدند. نتيجه نهايي براي اين بخش به ازاي 3/1 ليتر در دقيقه دبي‌آب در زير آمده است:

شرايط بهينه بخش 1 :	نمونه	عيار (%Sb)

کنسانتره	58/34	R= 80/%58
باطله	9/64	E_R=2/01

کنسانتره اين بخش مستقيماً قابل عرضه به بازار مي‌باشد.

باطله اين بخش و باطله بخش‌هاي 2 و 3 با هم مخلوط شده و پس از آسيا براي جدايش آنتيموان به فلوتاسيون فرستاده مي‌شود.

همانطور كه از نتايج ملاحظه مي‌شود، آزمايش‌هاي تكميلي باعث افزايش راندمان از 73/16% به 80%/58 (حدوده 7/5 درصد) شده در حالي كه عيار كنسانتره كمتر از 1% كاهش پيدا كرده است.

همچنين عيار باطله نيز كاهش پيدا كرده است. كاهش عيار باطله سبب مي‌شود كه در مرحله فلوتاسيون باطله اين بخش، نياز به كلكتور و فعالساز كاهش پيدا كند و هزينه فلوتاسيون كاهش يافت. بخش 2 نيز كه شامل ذرات كوچكتر از 12 مش و بزرگتر از 20 مش بود در جيگ دنور و ميز لرزان مورد آزمايش قرار گرفت. پس از بهينه‌سازي و مقايسه، جيگ جهت عمليات تغليظ انتخاب شد. شرايط بهينه ميز لرزان براي اين بخش در زير آمده است:

نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	59/32	R= 64/%80
باطله	12/20	

نتايج آزمايش‌هاي اين بخش با جيگ دنور در زيرآمده است:

دبي آب 1/6 ليتر در دقيقه

نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	60/54	R= 72/%20
باطله	10/52	E_R=2/21

8دبي‌آب 2/6 ليتر در دقيقه

نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	64/05	R= 73/%26
باطله	10/06	E_R=2/33

دبي‌آب 3/3 ليتر در دقيقه

نمونه	عيار (%Sb)

کنسانتره	62/37	64/%21
باطله	13/72	2/27

R=

E_R=

همانطور كه مشاهده مي‌شود شرايط بهينه در هنگامي است كه دبي آب 2/6 ليتر در دقيقه باشد. پس از انجام آزمايش‌هاي تكميلي كه با همين دبي آب صورت گرفت، نتيجه نهايي فرآوري اين بخ ش در جيگ به صورت زير مي‌باشد:

دبي‌آب 2/6 ليتر در دقيقه

نمونه	عيار (%Sb)
كنسانتره	57/80
باطله	9/39

يكي از اهداف آزمايش‌هاي تكميلي بررسي قابليت تكرارپذيري آزمايش‌ها بهينه‌سازي شده است. همانطور كه ملاحظه مي‌شود بازيابي افزايش پيدا كرده اما عيار كنسانتره كاهش يافته است.

براي حصول اطمينان از صحت آناليز كانسانتره اين بخش در آزمايش تكميلي، اين كنسانتره مجدداً با كد ديگري به شركت توسعه علوم زمين فرستاده شد و اين بار مقدار آنتيموان 58/56% گزارش شد.

مقايسه اين دو عدد 0/76% اختلاف نشان مي‌دهد كه قابل چشم‌پوشي است. با در نظر گرفتن % 58/56Sb در كنسانتره اين بخش، بازيابي برابر % 80/17 خواهد بود. يك معيار ساده جهت مقايسه اين است كه حاصل ضرب عيار و بازيابي هر آزمايش با آزمايش ديگر مقايسه شود:

f=(عيار آنتيموان در كنسانتره) × (بازيابي آنتيموان)

مقدار تابع f براي آزمايش اول كه در دبي 2/6 ليتر در دقيقه انجام شد و همچنين در آزمايش تكميلي با هم برابر است:

$$f_1 = 0/7326 \times 0/6405 = 0/4692$$

$$f_2 = 0/5856 \times 0/8017 = 0/4695$$

اين به معني آن است كه توليد يك كنسانتره با عيار 64/05 درصد Sb و بازيابي 73/26% در بررسي فني اوليه معادل توليد يك كنسانتره با عيار 58/56 درصد Sb و بازيابي 80/17% مي‌باشد. همچنين

افزايش بازيابي از 73/26% به 80/17% و كاهش عيار باطله موجب مي‌شود تا در مرحله بعد كه باطله ثقلي در فلوتاسيون تغليظ مي‌شود نياز به كلكتور و فعالساز كاهش يابد.

با توجه به اين دلايل نتيجه فرآوري بخش 2 در جيگ دنور توليد كنسانتره‌اي با عيار 58/56 درصد Sb و بازيابي 80/17% خواهد بود و فلوشيت نهايي براساس آزمايش تكميلي خواهد بود.

بخش 3 كه شامل ذرات كوچكتر از 20 مش و بزرگتر از 70 مش بود در جيگ دنور، ميز لرزان و مولتي گراويتي مورد مطالعه و آزمايش قرار گرفت. نتايج اين بخش در جيگ و مولتي گراويتي خوب نبود.

بهترين نتايجي كه اين بخش بر روي ميز لرزان داشت در شيب 10/5 و ميزان دبي آب شستشو 10/2 ليتر در دقيقه بدست آمد. نتايج اين بخش در نقطه بهينه و در شيب‌هاي 10 و 11 درجه در زير بدست آمده است:

شرايط شيب 10 درجه

نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	51/09	R= 70/%53
باطله	11/59	

شرايط شيب 10/5 درجه

نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	50/63	74/%57
		R=
باطله	12/44	1/89
		E_R=

شرايط شيب 11 درجه

نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	39/19	R= 87/%6
باطله	8/69	

آزمايشات تكميلي تكرارپذيري شرايط 2 (بهينه) را تاييد كرد.

اگر مقدار تابع f براي اين سه شرايط آورده شود، f_2 بيشتر خواهد بود و تاييدي بر بهينه بودن نقطه 2 مي باشد.

$$f_1 = 0/360 \qquad f_2 = 0/378 \qquad f_3 = 0/360$$

به علت باقي مانده مقداري كاني آنتيموان در نظر گرفته شد كه باطله بخش 3 به همراه باطله بخش‌هاي 1 و 2 با هم مخلوط شده و پس از آسيا به بخش فلوتاسيون ارسال شود تا حد ممكن آنتيموان استحصال شود.

عيار بخش 3 به طور ميانگين 28/78 درصد Sb مي باشد و فرآوري اين بخش شرايط بهينه‌سازي شده منجر به توليد كنسانتره‌اي با عيار 50/63% آنتيموان و بازيابي 74/57% خواهد شد.

فلوشيت فرآوري

با ورودي به كارخانه فرآوري پس از سنگ‌شكني فكي اوليه و سنگ‌شكني ثانويه در يک سنگ‌شكن استوانه اي با سرند 6 مش به طور مدار بسته مورد خردايش قرار مي‌گيرند.

اين بار به 4 بخش كه قبلاً ذكر شده است تقسيم مي‌شود. بار خروجي از سرند مطابق فلوشيت زير فرآوري مي‌شود.

فلوتاسيون

با انجام آزمايش‌هاي لازم معلوم شد كه براي استخراج كاني آنتيموان از باطله بخش‌هاي 1، 2 و 3 نياز به خردايش و فلوتاسيون دارند. نتايج تغليظ مجدد اين باطله‌ها در جيگ و ميزلرزان خوب نبود. با مطالعه روي ماده معدني، آسياي ميله‌اي و روش خشک جهت آسيا ميله‌اي و روش خشک جهت آسيا كردن انتخاب شد. زمان بهينه خردايش ″30 ′21 بدست آمد.

توزيع دانه‌بندي محصول آسيا نشان مي داد كه 96% ذرات كوچكتر از μ 150 هستند.

براي رعايت نسبت‌هاي وزني لازم بود تا خوراک آسيا شامل 28/8% از باطله بخش 1، 36/6% از باطله بخش 2 و 34/6% از باطله بخش 3 باشد. در اين صورت عيار آنتيموان در خوراک آسيا 10/52 درصد خواهد بود.

پس از مطالعات مقدماتي، آميل گزنتات پتاسيم به عنوان كلكتور و سولفات مس به عنوان فعالساز انتخاب شدند. كف ساز مورد استفاده روغن كاج بود.

عمليات فلوتاسيون در سلول‌هاي 1 ليتري و با 0/5 كيلوگرم از ماده معدني انجام شد. در تمام آزمايش‌هاي فلوتاسيون درصد وزني يافي 33% جامد و سرعت دوران روتور سلول فلوتاسيون rpm 1000 بوده است.

فلوتاسيون در مقادير مقاربتي از كلكتور و فعالساز انجام شد. مقدار فعالساز بهينه (130 گرم بر تن بدست آمد. بازاء اين مقدار فعالساز، كلكتور در مقادير مقاربت آزمايش شد.

باطله بر كنسانتره نقاط 2، 3 و 4 براي آناليز به شركت توسعه علوم زمين فرستاده شد كه نتايج آن در زير آمده است:

نقطه 2:

عنصر (Sb%)	درجه

	کنسانتره	42/39	82/%49
R=			
E_R=41/03	باطله	2/07	

نقطه 3:

نمونه	عيار (%Sb)	
کنسانتره	39/65	74/%36
R=		
باطله	3/17	

نقطه 4:

نمونه	عيار (%Sb)	
کنسانتره	30/19	61/%33
R=		
باطله	5/37	

براي مطالعات بيشتر و آزمايش‌هاي تكميلي بايد كنسانتره و باطله نقطه 1 را آناليز و نتايج آن را با نتايج نقطه 2 مقايسه كرد. براي صرفه‌جويي در هزينه‌ها با توجه به مشاهده ميكروسكوپي اين كار به تعويق انداخته شد. در صورتي كه نقطه 3 بهتر از نقاط 2 و 4 بود نيازي به آناليزكنسانتره و باطله نقطه 1 نبود اما با توجه به اين نتايج كه نشان مي‌دهد افزايش مصرف كلكتور عيار آنتيموان در كنسانتره و بازيابي را افزايش مي‌دهد لازم شد تا بررسي شود كه آيا مصرف 350 گرم بر تن كلكتور كافي است يا نياز به افزايش آن مي‌باشد. پس از آناليز كنسانتره نقطه 1 مشخص شد كه 350 گرم بر تن كلكتور كافي است. و نقطه 2 به عنوان نقطه بهينه انتخاب شد.

در مورد عيار آنتيموان در كنسانتره مي‌توان با يک مرحله تميزكاري عيار آن را افزايش داد و يا اينكه مستقيماً محصولي با عيار 42/4% آنتيموان به بازار عرضه كرد. در صورتي كه قرار به تميزكاري باشد مي‌توان با افزايش زمان كف‌گيري به بازيابي بالاتري دست پيدا كرد. اشكال افزايش زمان كف‌گيري كاهش عيار است. اين مشكل در تميزكاري مرتفع خواهد شد. پس با افزايش زمان كف‌گيري مي‌توان بازيابي را افزايش داد و در مرحله كليز عيار را به حد مطلوب رساند.

در تحقيقاتي كه بر روي فلوتاسيون استيبنيت در دنيا انجام شد و گزارش‌هاي آن موجود مي‌باشد، حداكثر بازيابي آنتيموان به ازاي 350 گرم بر تن آميل گزنتات 80% بوده است. نتايج آناليز نقطه 2 بازيابي را 82/5% نشان مي‌دهد كه اين مطلب بسيار قابل توجه است. همانطور كه ذكر شد حتي اين

بازيابي با افزايش زمان كف‌گيري قابل افزايش بود و تنها براي اينكه عيار كنسانتره پايين نيايد همين مقدار كف گيري و بازيابي به عنوان مقدار بهينه انتخاب شد.

بخش 4 كه شامل ذرات كوچكتر از 70 مش بود، ابتدا در جداكننده مولتي گراويتي تغليظ باشد. شرايط بهينه اين بخش در جداكننده مولتي گراويتي تغليظ شد. شرايط بهينه اين بخش در جداكننده مولتي گراويتي در زير آمده است:

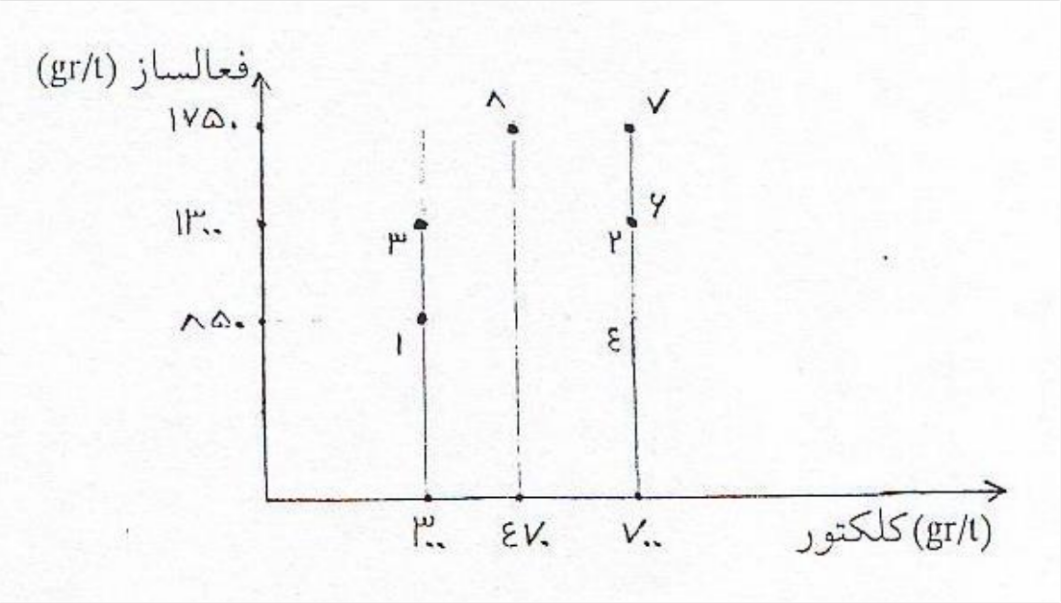
نمونه	عيار (%Sb)	
كنسانتره	49/41	65/%66
باطله	17/23	1/61

$R=$

$E_R=$

به دليل پايين بودن عيار كنسانتره و عدم تكرارپذير آن و همچنين بازيابي كم، اين بخش مستقيماً به فلوتاسيون فرستاده شد.

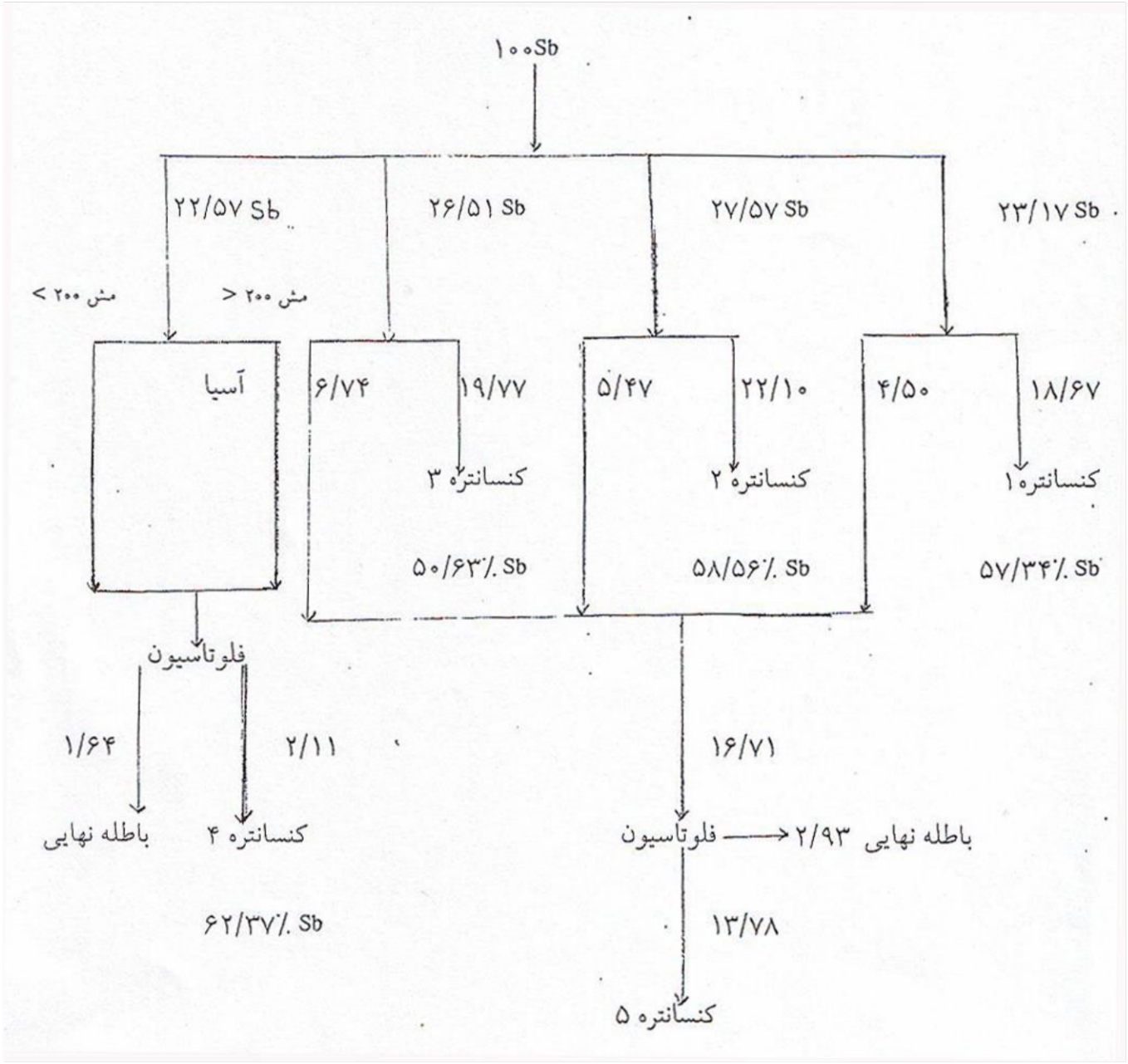
ابتدا مقدار كلكتور 300 گرم بر تن و فعالساز 850 گرم برتن در نظر گرفته شد. در آزمايش‌هاي بعد مقدار افزايش مواد شيميايي بررسي شد. همانطور كه در نمودار زير آمده است، نقطه 2 كه در آن مقدار كلكتور 700 گرم بر تن و فعالساز 1300 گرم بر تن استفاده شده است عيار كنسانتره و بازيابي آنتيموان مطلوب نيست. پس از مطالعه مشخص شد كه لازم است اين بخش توسط سرند 200 مش به دو قسمت تقسيم شود و ذرات بين 70 مش و 200 مش در آسياي ميله‌اي مورد خردايش مجدد قرار گيرد. زمان بهينه خردايش ´20 ´4 بدست آمد و روش خشک جهت آسيا كردن برگزيده شد. پس از خردايش، اين قسمت با عبور كردن از سرند 200 مش مخلوط و به سلول فلوتاسيون فرستاده شد. همانطور كه مشاهده مي‌شود نقطه 6 كه همان مقدار نقطه 2 را دارد، پس از خردايش بازيابي بسيار بهتري را نشان مي‌دهد:



R_1=16/91 %	C_1 =45/%9
R_2=58/14 %	C_2 =54/%6
R_3=31/29 %	C_3 =51/%7
R_4=40/05 %	C_4 =51/%9
R_6=95/42 %	C_6 =53/%52
R_7=92/78 %	C_7 =62/%37
R_8=90/01 %	C_8 =62/%22

براي افزايش عيار كنسانتره مقدار فعالساز در نقطه 7 به نسبت نقطه 6 افزايش داده شده و در صورتي كه تابع f براي مقايسه نقاط 6 و 7 محاسبه شود، مي‌بينيم كه نقطه 7 مناسب‌تر است. در آزمايش‌هاي تكميلي بررسي شد كه آيا خردايش مي‌توان مصرف كلكتور را كاهش دهد يا خير. لذا نقطه 8 بررسي شد و نتايج آناليز آن نشان مي‌داد كه همان 700 گرم بر تن كلكتور مورد نياز است و كاهش كلكتور اثرمنفي مي‌گذارد. براين اساس نقطه 7 به عنوان نقطه بهينه نهايي انتخاب شد.

نمودار بازيابي آنتيموان



لازم به ذكر است كه تمامي معادن آنتيموان دنيا، بازيابي كمتر از 95% دارند و نتايج فرآوري آنتيموان كاشمر در نوع خود در دنيا بي‌نظير است. سادگي فلوشيت تغليظ و بازيابي منحصر به فرد و عيار مطلوب در حد مقياس بازار جهاني مهمترين ويژگي آن مي‌باشد.