

UOT 665.6.03

Ə.Ş.Qurbanov¹, E.Ə.Hüseynova¹, F.H.Rəşli¹, V.A.Məmmədova²
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti¹
Heydər Əliyev adına Bakı Neft Emalı zavodu²
fidanresli@gmail.com

NEFT BİTUMU

Açar sözlər: *Bitum, bitumun alınması, asfalten, qətranlar, yağlar, oksitləşmə, heterotsiklik birləşmələr*

Bu araşdırma neft bitumunun istehsalının əsas üsullarını təqdim edir. Qalıq, oksidləşmiş və mürəkkəb bitumun xarakterik xüsusiyyətləri verilmişdir. İcmal bitumun funksionallığını və kimyasını təhlil edir. Asfaltenlərin, qətranların və yağların bitumun xüsusiyyətlərinə təsiri, bitumda olan heterotsiklik birləşmələrin quruluşu müzakirə edilir, eyni zamanda bitumun müasir dövrümüzdə kimyanın müxtəlif sahələrində rolu və iştirakı vurğulanır.

A.С.Гурбанов, Э.А.Гусейнова, Ф.Х.Раши, В.А.Мамедова

НЕФТЯНОЙ БИТУМ

Ключевые слова: *Битумы, производство битумов, асфальтены, смолы, масла, оксикислоты, гетероциклические соединения*

В данном исследовании представлены основные способы производства нефтяных битумов. Приведены характеристические свойства остаточных, окисленных и комплексных битумов. В обзоре анализируются функциональность и химический состав битума. Обсуждается влияние асфальтенов, смол и масел на свойства битумов, строение гетероциклических соединений в битумах, при этом подчеркивается роль и участие битумов в различных областях химии в нашу современную эпоху.

A.S.Gurbanov, E.A.Guseinova, F.H.Rashli, V.A.Mammadova

OIL BITUMEN

Keywords: *Bitumen, bitumen production, asphaltene, resins, oils, oxyacids, heterocyclic compounds*

This study presents the main methods of production of petroleum bitumen. Characteristic properties of residual, oxidized and complex bitumen are given. The review analyzes the functionality and chemistry of bitumen. The effect of

asphaltenes, resins and oils on the properties of bitumen, the structure of heterocyclic compounds in bitumen are discussed, at the same time, the role and participation of bitumen in various fields of chemistry in our modern era is emphasized.

Giriş

Bitum asfalt aqreقاتları arasında bağlayıcı rolunu oynayan, yol tikintisi sahəsində ən çox istifadə olunan materiallardan biridir. Asfalt bağlayıcı, yol örtüyü proseslərində istifadə olunan kompozitdə mineral aqreقات hissəciklərini bir yerdə saxlayan yapışqan materialdır. Bu xam neftin distillə edilməsindən sonra əldə edilən qalıqın müxtəlif yol/magistral tikinti və digər istifadələr üçün spesifikasiyalara cavab verən məhsul istehsal etmək üçün hava üfürülməsi və ya həlledici üsulu ilə təmizləndiyi emal zavodunun məhsuludur. Bitum Avropada istehsal olunan məhsula verilən addır, asfalt bağlayıcı isə Şimali Amerikada və bir çox ölkələrdə istifadə olunur. Hal-hazırda neftdən əldə edilən bitumun əhəmiyyətli bir hissəsi yol örtüyü proseslərinə yönəldilir, qalan hissəsi isə digər tikinti proseslərində, məsələn, rəngləmə, laklar, dam örtüyü, izolyasiya, pasdan qoruyucu kompozisiyaların istehsalı, akkumulyator qutuları və rezin məhsulların, əyləc astarlarının və yanacaq briketlərinin istehsalına sərf olunan başlanğıc materiallardan biri kimi istifadə olunur.

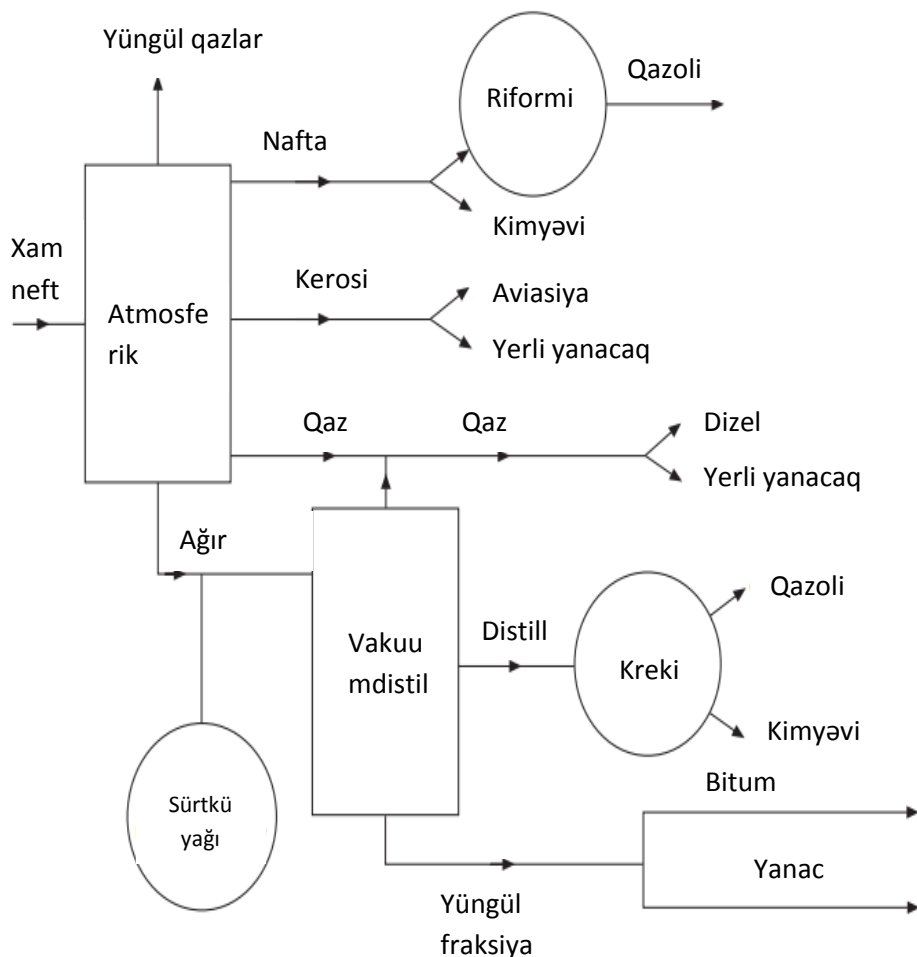
Bitumun alınması

Bitum təbii şəkildə yaranır və xam neftin təmizlənməsindən sonra da qalır. XX əsrin əvvəllərindən bəri bituma olan tələbat təbii mənbələrdən əldə edilən tələbi xeyli üstələyir. "Təbii" bitum yeraltı xam neft yataqlarının yaxınlığında tapılır, burada yerüstü sızmalar geoloji qırılmalarda baş verə bilər. Bu təbii materialın miqdarı və təbiəti bu materialın xüsusiyyətlərini dəyişdirən bir sıra təbii proseslərdən asılıdır. Bu məhsul tez-tez mineral maddə ilə müşayiət olunur, miqdarı və təbiəti belə bir qarışıqın meydana gəlməsinə səbəb olan şəraitdən asılıdır.

Xam neft dəniz orqanizmlərinin qalıqlarından və okean yatağında palçıq və qaya parçaları ilə yığılmış bitki mənşəli maddələrdən əmələ gəlir. Milyonlarla il ərzində üzvi maddələr və palçıq yüzrlə metr qalınlığında təbəqələrə toplanır, üst təbəqələrin böyük çəkisi alt təbəqələri çöküntü süxuruna sıxışdırır. Orqanizmlərin və bitki mənşəli maddələrin xam neftin karbohidrogenlərinə çevrilməsinin yer qabığının istiliyinin və yuxarı çöküntü təbəqələrinin tətbiq etdiyi təzyiğin, ehtimal ki, bakterial təsirin və radioaktiv bombardmanın təsirinə nəticəsi olduğu düşünülür. neftin əmələ gəldiyi çöküntü süxurunun üzərinə əlavə çöküntü qatları çökdüyü üçün əlavə təzyiç nefti məsaməli süxurdan yan-yana və yuxarıya doğru sıxırdı, məsaməli qaya yer səthinə qədər uzanır və neftin içindən sızmasına imkan verir, daha yüngül

fraksiyalar (məsələn, propan və butan), sonra nafta, kerosin və qaz yağı, distillələr və qısa qalıqlar çıxır. Məhz bu qısa qalıq bir çox müxtəlif dərəcəli bitumun istehsalında istifadə olunan xammaldır. Qısa qalıq vasitəsilə oksigen üfürülür və istifadə olunan temperatur və təzyiqlərdən və nə qədər oksigenin əlavə olunmasından asılı olaraq müxtəlif dərəcəli bitum alınır.

Bitum xam neftin 300-350°C-də fraksiya distillə edilməsi yolu ilə əldə edilir. Şəkil 1 distillə prosesinin sxematik diaqramını göstərir.

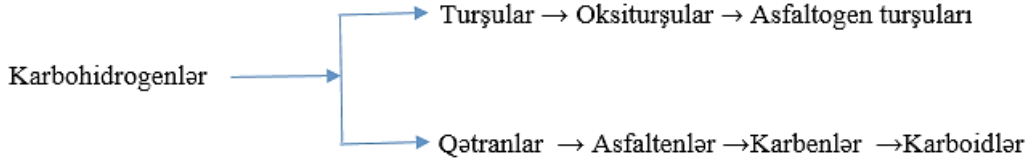


Şəkil 1. Bitum xammalı əldə etmək üçün xam neftin fraksiya distilləsinin sxematik diaqramı

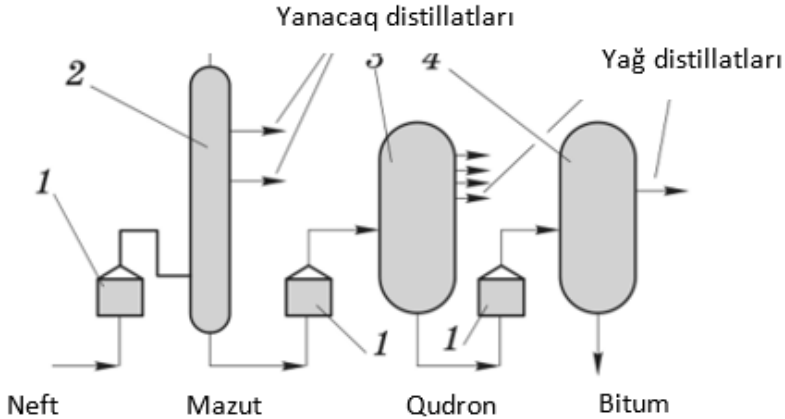
Sənayedə oksidləşmə üsulu ilə daha çox bitum alınır. Bu vaxt xammal kimi yüksək qətranlı, az parafinli qalıqlardan istifadə etdikdə alınan bitumun keyfiyyəti daha yüksək olur. Oksidləşmə prosesinə təsir edən amillər

temperatur, oksidləşməyə verilən havanın miqdarı və təzyiqdır.

Oksidləşmə prosesinin mexanizmi aşağıdakı iki istiqamətdə gedir:



Oksidləşmə reaksiyası ekzotermikidir. Oksidləşməyə verilən havanın miqdarı daha çox olduqda sistemin temperaturu normadan çox olur. Bunu verilən havanın miqdarı ilə tənzimləyirlər və yaxud havanın miqdarı çox verildikdə sistemdə alınan istiliyi oradan çıxartmaq lazım gəlir. Verilən havanın ümumi sərfi göstərilən xammalın kimyəvi tərkibindən, alınan bitumun keyfiyyətindən asılı olur və hər ton bituma 50 – 400 m³ hava verilir. Sistemdə təzyiq artdıqca oksidləşmə reaksiyaları daha intensiv gedir və alınan bitumun keyfiyyəti yüksək olur. Yüksək təzyiqdə yağ fraksiyasının bir hissəsi kondensləşərək bitumun keyfiyyətinin yüksəlməsinə səbəb olur. Bir qayda olaraq oksidləşmə prosesi 0,3 – 0,8 MPa təzyiqdə aparılır. Oksidləşmə bitumun alınmasının texnoloji sxemi şəkil 2-də verilib.



Şəkil.2. Oksidləşmə bitumun alınmasının prinsipial sxemi:

1-Tutum, 2-Distillə kolonu, 3-Vakuüm kalonu, 4-Oksidləşmə kalonu

Bitumun funksionallığı

Avropa spesifikasiyasına (EN 12597) uyğun olaraq bitum, xam neftdən əldə edilən və ya təbii asfaltda mövcud olan, toluolda tamamilə və ya demək olar ki, həll olunan, çox özlü və ya demək olar ki, bərk olan faktiki olaraq uçmayan, yapışqan və su izolyasiya materialı kimi müəyyən edilir. Hamı

tərəfindən qəbul edilir ki, bitumun orijinal xüsusiyyətləri onun istehsalı və emal prosedurundan, həmçinin xam neftin xüsusiyyətlərindən çox asılıdır. Yaxşı xam yağlar və düzgün distillə prosesləri bitumun xüsusiyyətlərini artırmağa bilər. Ümumiyyətlə, daha ağır xam neft daha yüksək bitum məhsuldarlığı verir. Buna görə də, müxtəlif aspektlərdən bitumun xüsusiyyətləri haqqında tam biliyə sahib olmaq çox vacibdir. Bəzi bitum tətbiqləri üçün fazada fasiləsizlik, pis dispersiya və polimerlər/aşqarlarla qeyri-sabitlik kimi xassələr bitumlu materialların istehsalında və tətbiqində çətinliklər yarada bilər.

Ticarət nöqtəyi-nəzərindən bitum, uzun müddətdir ki, dam örtüyü və səkilərin tətbiqi, səki qarışıqları və sənaye məhsullarında geniş istifadə olunan ucuz termoplastik materialdır. Həm səki, həm də sənaye tətbiqlərində bitum iqlimə və daha tələbkar nəqliyyat yüklərinə davamlı olmalıdır, buna görə də reoloji xüsusiyyətlər müxtəlif aspektlərdə əsas rol oynayır. Funksional baxımdan bitum yüksək temperaturda kifayət qədər maye olmalıdır ($\approx 160^{\circ}\text{C}$) qarışdırma zamanı aqreqatın homogen örtülməsini təmin etmək üçün pompalana bilən və işlək olmalıdır. Bundan əlavə, o, yüksək temperaturda sürtünməyə qarşı kifayət qədər sərt olmalıdır (yerli temperatura uyğun olaraq, $\approx 60^{\circ}\text{C}$). Nəhayət, o, aşağı temperaturda termal krekinqə müqavimət göstərmək üçün kifayət qədər yumşaq və elastik qalmalıdır. Bundan əlavə, bəzi tətbiqlərdə şərti təmiz bitumların performansını tələb olunan mühəndislik xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla qənaətbəxş olmaya bilər, çünki o, soyuq mühitdə kövrək olur və isti mühitdə asanlıqla yumşalır. Bu məhdud performans temperatur diapazonu təmiz bitumun əsas çatışmazlığıdır və onun həm dam örtüyü, həm də yol örtükləri üçün istifadəsini məhdudlaşdırır. Bundan əlavə, nəqliyyatın sürəti və yükü kəskin şəkildə artdıqca, planlaşdırılmamış həddən artıq yükləmə asfalt örtüyünün xidmət müddətini əhəmiyyətli dərəcədə qısaltıb, onun təmir xərclərini və istifadəçilər üçün riskləri artırır. Beləliklə, səliqəli bitumun performans xüsusiyyətlərini artırmaq üçün bu günə qədər müxtəlif əlavələr təqdim edilmiş və bəziləri bir çox tətbiqlər üçün uğurla istifadə edilmişdir. Bitumun performansını artırmaq üçün dəyişdiricilər və əlavələr istifadə edilmişdir: polimerlər, kimyəvi dəyişdiricilər, genişləndiricilər, oksidləşdiricilər və antioksidantlar, karbohidrogenlər və soyulmaya qarşı əlavələr. Aşağıdakı bölmələr bitum modifikatorlarının elmi və texnologiyasını hərtərəfli və dərinlən əhatə edən tədqiqatların son bir neçə onilliyi ərzində istifadə olunan aşqarların əsas xüsusiyyətlərini təsvir etmək və əsasən bitum kimyasının tərkibi haqqında müzakirələrə həsr edilmişdir.

Bitumun kimyası

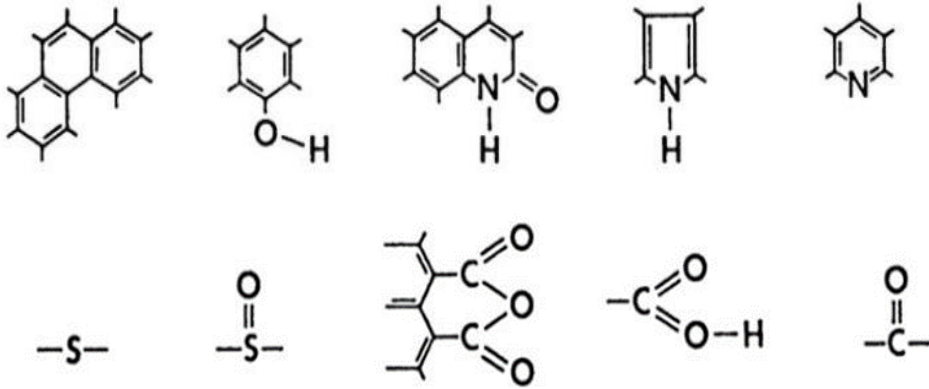
Bitum asfaltenlər, qatranlar, aromatiklər və parafinlərdən ibarət fraksiyalara ayrılmağa bilən yüksək molekulyar ağırlıqlı karbohidrogenlərin və qeyri- karbohidrogenlərin mürəkkəb qarışığı hesab olunur (Traxler, 1936).

Bitumda üç növ karbohidrogen mövcuddur; parafinli, naftenik və aromatik. Bitumun tərkibindəki qeyri-karbohidrogenlər kükürd, azot və oksigendən ibarət heterosiklik atomlara malikdir. Müxtəlif xam yağlardan hazırlanmış bitumun element analizi göstərir ki, bitumların əksəriyyətində aşağıdakılar var: karbon-82-85%; hidrogen-8-11%; kükürd-0-6%; oksigen -0-1.5%; azot -0-1%.

Nikel, dəmir, vanadium, kalsium, maqnezium və xrom kimi metalların iz miqdarı da bitumda olur.

Molekulyar nöqteyi-nəzərdən heteroatomların əsas birləşmələri bunlardır: sulfidlər, tiollar və sulfoksidlər, ketonlar, fenollar və karboksilik turşular, pirol və piridin birləşmələri və əksər metallar metaloporfirinlər kimi komplekslər qəmələ gətirir. Molekulyar çəkinin paylanması təhlili göstərir ki, bitum təxminən 300-2000 kimyəvi birləşmədən (orta dəyər 500-700) ibarət mürəkkəb qarışıqdır və bu, tam kimyəvi xarakteristikamı çox çətinləşdirir.

Bitumun tərkibində olan funksional qruplar- oksigenli, azotlu və kükürdlü birləşmələrdir.



Bitumun çoxlu sayda kimyəvi birləşmədən ibarət çox mürəkkəb material olmasına baxmayaraq o, əsasən 3 qrupda təsnifatlaşdırılır: asfaltenlər; qətranlar; yağlar.

Bitumların element tərkibi onların tərkibinə daxil olan mümkün kimyəvi birləşmələr haqqında təxmini fikir verdiyi üçün qrupun kimyəvi tərkibini müəyyən etmək təklif olunur. Müxtəlif birləşmələrin qruplara bölünməsi onların həlledicilər və adsorbentlərlə seçici əlaqəsinə əsaslanır. Aşağıdakı karbohidrogen qrupları adətən bitumdan fərqlənir: yağlar, qətranlar (benzol və spirt-benzol), asfaltenlər, daha az tez-tez asfaltogen turşular və onların anhidridləri, karbenləri və karboidləri.

Yol bitumunun təxmini qrup tərkibi, kütlə %: yağlar 40 - 60; qatranlar 20 - 40; asfaltenlər 10–30, karbenlər və karboidlər 1–3; asfaltogen turşular və onların anhidridləri 1-ə qədər.

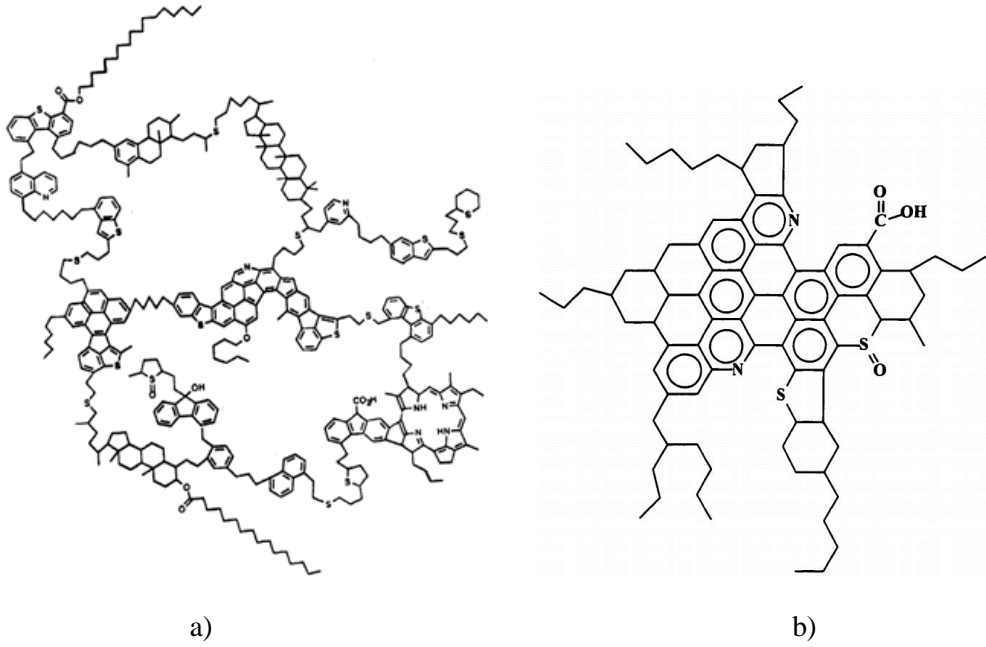
Asfaltenlər

Asfaltenlər, ümumiyyətlə asfaltlama dərəcəli bitumun kütləsinin 5-dən 20%-ə qədərini təşkil edir və özlülük yaratma roluna görə daha çox öyrənilmiş bitum fraksiyalarıdır. Onlar həmçinin xam neftin emalındakı əhəmiyyətinə görə neft kimyaçılarının böyük marağına səbəb olur. Onlar bitum molekullarının aşağı həllolma sinfini təmsil etdiklərinə görə, geokimyaçılar onların karogenlə bəzi oxşarlıqlara malik olduğuna inanırlar.

Asfaltenlər indi bitumun(və ya xam neftin) n-heptanda həll olunmayan hissəsi, lakin toluolda həll olan hissəsi kimi müəyyən edilir. Nəzərə alın ki, burada həllolma molekulyar həllolma kimi deyil, “çöküntü əmələ gətirməyən” kimi başa düşülməlidir, çünki asfaltenlərin toluolda mitsellər əmələ gətirdiyi məlumdur. n-heksan ümumiyyətlə alkanın karbon sayı nə qədər az olarsa, asfaltenlərin miqdarı bir o qədər yüksəkdir. qeyd edək ki, yüksək mum tərkibli materiallarla işləyərkən prosedur birgə çökmə yarada bilər, xam yağlarla polikristal mumlu materialların müşahidə edildiyi kimi.

Asfaltenlər otaq temperaturunda qara toz əmələ gətirir və bitumun qara rənginə cavabdehdirlər. Onlar normal tədqiq edilmiş temperatur diapazonunda (200⁰C -ə qədər heç bir termal keçid göstərmirlər. Onların həllolma parametri 17,6 və 21,7 MPa və 20⁰C-də sıxlığı 1,15q/sm³-ə yaxındır. Bununla belə, Rogel göstərmişdir ki, həllolma parametri aqreqasiya vəziyyətindən asılı olaraq dəyişə bilər və buna görə də bu dəyərlərdən ehtiyatla istifadə edilməlidir. Mitselləri ayırmağa imkan verən çox az üsullardan biri olan Buxar Təzyiq Osmometriyası ilə onların orta molekulyar çəkisi 800-3500q/mol olaraq təxmin edilir. Onların elementar analizi bir asfaltdan digərinə sabitdir, H/C nisbəti 0,98 və 1,56 arasındadır. Əslində, neftin n-pentan asfaltenləri demək olar ki, sabit 1,15 H/C nümayiş etdirir. Onlar adətən bütün bitumun keçid metallarının izlərini, bir neçə ppm-dən Ni, Va, F-in çəkisinin onda bir neçəsinə qədər metal-porfirinlər kimi komplekslər şəklində toplayırlar.

Asfaltenlər n-heptanda həll olunmur, lakin toluolda həll olunur, oksigen, azot, kükürd və ağır metallar (V, Ni və s.) uzun alifatik zəncirli metalloporfirinlər (30 karbon atomuna qədər), pirrol və piridin halqaları kimi komplekslər var. UV- flüoressensiya spektroskopiyası tərəfindən göstərildiyi kimi Furye transformasiya edən infraqırmızı spektroskopiyaya (FTIR), molekulları şəkildə göstərildiyi kimi halqa əvəzediciləri kimi bəzi alifatik zəncirlərlə birlikdə çox güman ki, 4-10 vahid arasında ərimiş aromatik halqalardan ibarətdir.



Şəkil 3. Asfalten hipotetik quruluşu: (a) arxipelaq quruluşu və (b) qitə quruluşu

Qətranlar

Qütb aromatikləri adlanan qətranlar 30-45% təşkil edir. İstifadə olunan həlledicidən asılı olaraq, onlar aromatik maddələrdən çox ola bilər. Əslində, Corbett qətranları benzol/metanol qarışığı ilə süzölmüş fraksiyanı birləşdirirdi. Əksinə ASTM D4124 toluol/metanoldan təmizlənmiş fraksiyanı aromatik maddələrin bir hissəsi hesab edir. Əgər doymuş maddələr və aromatiklər otaq temperaturunda yağlı mayelərdisə, qətranlar otaq temperaturunda qara bərk maddə əmələ gətirir və onların şüşə keçidi nümayiş etdirib-göstərmədiyini aydın deyil.

Koots və Speight göstərdi ki, onların tərkibi asfaltenlərinə yaxındır ki, onların aşağı molyar kütləsi, təqribən 1100q/mol, bir qədər yüksək H/C nisbəti 1,38-1,69 və ən əsası daha az mürəkkəb aromatik quruluşdur. Pieri göstərdi ki, onlar bəzən asfaltenlərdən daha qütblü ola bilərlər, lakin yenə də daha az qatılaşdırılmış aromatik halqalarla. Onlar adətən 2-4 əridilmiş halqaya uyğun gələn ən çox ehtimal olunan quruluşa malik əridilmiş aromatik halqalardan ibarətdir. Onların həllolma parametri 18,5 ilə 20 MPa arasında, sıxlığı isə 20⁰C-də 1,07q/sm³-ə yaxındır. Onlar bitumun sabitliyində həlledici rol oynayır, çünki onlar asfaltenlər üçün stabilizator kimi fəaliyyət göstərir.

Yağlar

Yağlar orta sıxlığı 911-923 kq/m³, molekulyar çəkisi 400-600 olan sarı özlü mayelərdir. Yağlar parafin, naften, mono-bi- və polisiklik aromatik karbohidrogenlərin qarışığından ibarətdir. Bitumun tərkib hissəsi kimi yağlar ən çox öyrənilənlərdir. Onlar bitumun dispersiya mühitini təmsil edirlər. Yağların kimyəvi tərkibi, kütlə %: karbon 80 - 85; hidrogen 10 - 15, kükürd 4-ə qədər, azot və oksigen - az miqdarda. Yağların həlledici gücü kimyəvi tərkibindən, xüsusən parafin-naften və aromatik karbohidrogenlərin nisbətindən asılıdır. Karbon atomlarının hidrogenə nisbəti (C / H) 0,66 - 0,7 aralığındadır.

Parafin karbohidrogenləri asfaltenlərin həll olunma qabiliyyətini və şişkinliyini pisləşdirir, bu da bitumun vahidliyinin pozulmasına gətirib çıxarır. Ən yüksək molekulyar çəkiddə olan parafin karbohidrogenləri temperaturun azalması ilə bitum filminin səthində kristallaşmağa və onun mineral materialın səthinə yapışmasını azaldır. Naften karbohidrogenləri xassələrinə görə parafin karbohidrogenlərinə bənzəyir, oksidləşmə zamanı qatranlar əmələ gətirir.

Aromatik karbohidrogenlər asfaltenlərə həlledici təsir göstərir, qütblü olur, bitumun yapışdırıcı xassələrini və onun istilik və atmosfer amillərinə davamlılığını artırır.

Heterosiklik və hibrid strukturların karbohidrogenləri xassələrinə görə aromatik olanlara yaxındır, lakin qızdırıldıqda və oksidləşdikdə daha qütblü və daha az dayanıqlıdır.

Yağlar bitumdan yüngül benzinlə təcrid olunur. Onlar bitumun hərəkətiliyini, axıcılığını verir, uçuculuğu artırır, yumşalma temperaturunu və kövrəklik temperaturunu azaldır.

Nəticələr

Bitumun təbii şəkildə, xam neftin 300-350⁰ C-də fraksiya distilləsindən, yüksək qətranlı və az parafinli qalıqların oksidləşməsi yolu ilə alındığını müəyyən etdik. Bitumun element tərkibi, oksigenli, kükürlü, azotlu birləşmələrin qarışığından ibarət olması, eyni zamanda tərkibinin əsas 3 qrup birləşmələrdən təşkil bituma müxtəlif xüsusiyyətlər verir. Bitumun tərkibi asfaltenlərdən, yüksək molekullu qətranlardan və yağdan təşkil olunur. Asfalten bituma bərklik və yüksək yumşalma temperaturu verir. Qətranlar ona sementləşmə xassəsi və elastiklik verir. Yağ isə bitumda olan qətranın həll olmasına və asfaltenlərin şişməsinə kömək edir. Bitumun kimyəvi tərkibi eyni zamanda asfaltenin makroskopik təşkilindən çox asılıdır. NMR spektroskopiyası vasitəsilə asfaltenin aromatik halqalardan ibarət olmasını, arxipelaq və qitə quruluşunu müşahidə etdik. Bitumun müasir dövrümüzdə yol və tikintidə, kimya sənayesinin müxtəlif sahələrində mühüm əhəmiyyətini vurğuladıq.

ƏDƏBİYYAT

1. *Qurbanov Ə.Ş. Əcəmov K.Y. Hüseynova E.Ə. Zeynalov E.T.* “Üzvi əlaqələndirici maddələrin texnologiyası”. Dərs vəsaiti 2019, 122 s.
2. *Qurbanov Ə.Ş., Məmmədov E.Ə., Şahməmmədova A.G.* Üzvi əlaqələndirici bitum laklarının alınması və tətbiqi. Metodik vəsait, Bakı – 2019, 58 s.
3. Abraham H (1945), "Asphalts and allied substances, their occurrence, modes of production, uses in the arts of methods of testing", New York, Van Nostrand.
4. *Axelson D E* (1987), ‘Solid state ¹³C nuclear magnetic resonance of heavy oil/bitumen derived solids Fuel 66, 40-43.
5. *Champagne P J, Manolakin E and Ternan M* (1985), ‘Molecular weight distribution of Athabasca bitumen’, Fuel, 64, 423–425.
6. *Dickie J P and Yen T F* (1967), ‘Macrostructures of the asphaltic fractions by various instrumental methods’, Anal. Chem., 39, 1847–1852.
7. Jäger A, Lackner R, Eisenmenger-Sittner Ch and Blab R (2004), ‘Identification of four material phases in bitumen by atomic force microscopy’, Road Materials and Pavement Design, 9–24.
8. *Masson J-F, Polomark G M and Collins P* (2002), ‘Time-dependent microstructure of bitumen and its fraction by modulated differential scanning calorimetry’, Energy Fuels, 16, 470–476.
9. *Strausz O P, Mojelsky T W and Lown E M* (1992), ‘The molecular structure of asphaltene: an unfolding story’, Fuel, 71, 1355–1363.
10. European Committee for Standardization EN 12597: Bitumen and Bituminous Binders-Terminology; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2000.
11. *Paliukait, M.; Vaitkusa, A.; Zofkab, A.* Evaluation of bitumen fractional composition depending on the crude oil type and production technology. In Proceedings of the 9th International Conference “Environmental Engineering” Selected Papers, Vilnius, Lithua.
12. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14680629.2017.1338189>.
13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166516218302696>

Redaksiyaya daxil olub 13.08.2022