

SERİ		CİLT		SAYI		
SERIES		VOLUME		NUMBER		
SERIE	A	BAND	50	HEFT	2	2000
SÉRIE		TOME		FASCICULE		

1951-2000
50.yıl

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
ORMAN FAKÜLTESİ
D E R G İ S İ

REVIEW OF THE FACULTY OF FORESTRY,
UNIVERSITY OF ISTANBUL

ZEITSCHRIFT DER FORSTLICHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT ISTANBUL

REVUE DE LA FACULTÉ FORESTIÈRE
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



SUMMATIVE ANALYSIS OF MAIN COMPONENTS IN COMMON HARDWOODS AND SOFTWOODS OF TURKEY

Y.Doç. Dr. Mualla BALABAN ¹⁾

Abstract

The extractives and structural components of four softwood and three hardwood species were determined by using the conventional methods of wood chemistry. The acid-soluble and acid insoluble lignin analyses were carried out in woods and holocelluloses to calculate the true yields of holocellulose and lignin in each species. After the yields of holocelluloses have been corrected for the soluble lignin, the sum of holocellulose- and lignin percentages came up to about 99 for all wood samples. Moreover and as expected, the amounts of acid-soluble lignin in hardwoods were higher than those in softwoods. In comparison to softwood holocellulose, the holocellulose of hardwoods also contained higher amounts of acid-soluble lignin. From the results can then be concluded, that the conventional delignification with acidified NaClO₂ solution is insufficient to remove lignin, especially, from hardwoods.

1. INTRODUCTION

Wood with its main component cellulose is the world's chief structural material for pulping. Therefore, especially for producing chemical pulps, the attention is directed to the high cellulose content of woods, thus many countries are so far continuously investigating their wood species for using them effectively in chemical industry.

In Turkey too, the contents of structural components (cellulose, polyoses and lignin) and extractives in some important hardwood and softwood species have been reported by several authors (HAFIZOĞLU et al. 1997, BALABAN et al. 1999, TANK 1964, TANK 1978). To prove the reliability of such data, calculating the sum of main components is often the simple and easy way to carry out. Usually the holocellulose- and lignin content of the woods have to be determined to characterize the species chemically at first glance. The sum of related data shows however, most often an excess over hundred percent up to 112 for instance. The reason for the excess is not to consider the acid soluble lignin existing in holocellulose in appreciable amounts which leads to over estimated holocellulose yields. On the other side the retaining of the lignin in holocellulose is explained by the presence of chemical linkages between cellulose, hemicellulose and lignin (ISOGAI et al. 1989).

¹⁾ İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Ürünleri Kimyası ve Teknolojisi Anabilim Dalı

To more or less extent, the acid soluble lignin also involves lignin in woods. MUSHA et al. (1974) showed that the amount of acid-soluble lignin was increased when the wood contained high amount syringyl moiety. The acid-soluble lignin content in hardwoods was approximately 3-5% and the real lignin amount in these species could be calculated if acid-soluble lignin content is added to Klason lignin (MAEKAWA et al 1989, KAAR/BRINK 1991).

The aim of the present study is first, to visualize and emphasize the problem related with acid soluble lignin in correct determination of chemical composition of wood. Secondly, to overcome this problem, a standardized method shall be applied on several timber producing hard- and softwood species of Turkey and results should be discussed. A brief description of the species chosen for the experiments is given as follows:

Pinus brutia is widely distributed on the Mediterranean and Aegean coasts of Turkey and Cyprus and it is used for production of kraft pulp in Dalaman mill, and also the tree is preferentially tapped to obtain oleoresin in Turkey. *Pinus sylvestris* is found in the northern part of Anatolia. *Picea orientalis* is the only spruce species growing naturally in Turkey (YALTIRIK 1988). *Abies equi-trojani* is an endemic species and grows in local districts in Marmara Region. These are the main softwood species utilized in building sector and furniture industry. On the other hand, *Fagus orientalis* is grown in Black sea and Marmara Regions of Turkey, and *Carpinus betulus* is found with beech, mostly in mixed stands, especially at lower altitudes as an understory tree (YALTIRIK/EFE 1994). Both species have various uses in furniture and pulping industries. *Quercus rubra* (red oak) is an exotic and rapid growing species.

2. MATERIALS AND METHODS

Samples of hardwoods [*Fagus orientalis* (diameter at breast height: 35 cm, age: 67), *Quercus rubra* (diameter: 60 cm, age:67) *Carpinus betulus* (diameter: 20 cm. age:45)] were obtained from Belgrad Forest in Istanbul. Samples of softwoods [*Abies equi-trojani* (diameter:36 cm age: 48), *Picea orientalis* (diameter:35 cm, age:67), *Pinus sylvestris* (diameter: 32 cm, age: 64)] were felled from Black Sea Region of Turkey, and other softwood [*Pinus brutia* (diameter: 29 cm, age: 56)] was obtained from Cyprus.

Discs were cut from bottom, middle and top of each stem and only in case of *Q. rubra heartwood* and sapwood were separated. The wood was grounded in a Wiley mill, and the product was screened, the fraction between 40 and 100 mesh was used for the chemical analyses (TAPPI T 11m-59).

Total extractives were determined according to TAPPI T 204 om-88 standard procedure in soxhlet apparatus. Two solvents were successively used each time for 4-6 hours as follows: the mixture of ethanol with benzene (1:2 v/v) and ethanol. The solubilities in hot water and 1% NaOH were estimated according to the TAPPI test methods (T 207 om-88 and T 21 om-88).

The often used, conventional method by Wise et al. (1946) was chosen to prepare holocellulose and extracted samples were delignified with acidified sodium chlorite solutions. The holocelluloses were treated with 17.5% NaOH solution to estimate alpha-cellulose content (TAPPI T 203).

The pentosan determinations were carried out according to the ISO method: The wood meal was first boiled with 3.2 M HBr solution to convert the pentoses to furfural which then is spectrometrically assayed by measuring its absorbance at 277 nm (Shimadzu UV-1601 Spectrophotometer) (BROWNING 1967).

After the treatment of material with 72% H₂SO₄ solution, the insoluble residue was weighed and so gravimetrically, Klason lignin content in woods and holocelluloses was determined. Ultraviolet spectroscopy has been employed for the determination of acid-soluble lignin (TAPPI UM 250.). The method comprises the measuring the absorbance of the decantate from the second stage of the acid-insoluble lignin determination at the wavelength 205 nm (DENCE 1992).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results related the solubilities of hardwoods and softwoods were given in Table 1. Generally the softwood species investigated here exhibit lower amounts of soluble substance than hardwoods. A trend of increment in solubility can also be observed with solvents in the following order; alcohol (second step after alcohol/benzene-extraction), alcohol/benzene, hot water and 1% NaOH-solution.

Among hardwoods, the sapwood of *Q. rubra* contains the highest extractable materials with organic solvents. Higher levels of hot water and 1% NaOH solubilities also indicate more tannin content in red oak wood.

Table 1 : Solubility characteristics of hardwoods and softwoods (based on oven-dry, unext. wood)

Tablo 1 : Yapraklı ve İğne Yapraklı Odunların Çözünürlük Değerleri (ekst. edilmemiş FK)

Species	EtOH-benzene (%)	EtOH (%)	Hot water (%)	1 % NaOH (%)
Hardwoods:				
<i>F. orientalis</i>	1.51	0.45	2.34	17.32
<i>C. betulus</i>	2.3	0.5	4.16	20.30
<i>Q. rubra</i> H.	2.96	0.95	4.84	20.81
<i>Q. rubra</i> S.	3.68	1.43	6.24	22.63
Softwoods:				
<i>P. orientalis</i>	1.53	0.19	2.61	10.45
<i>A. equitrojani</i>	1.75	0.17	1.31	11.43
<i>P. brutia</i>	2.0	0.25	1.54	11.45
<i>P. slyvestris</i>	11.23	0.17	3.01	20.37

The amount of extractives soluble in alcohol/benzene is conspicuously very high in case of *P. slyvestris*. Its wood also dissolves in alkali to much more extent, as much as the hardwoods. Alkali solubility of other softwoods is about 11 % and very close to each other. The lowest solubility in alcohol for all samples has the reason because it was the following step after the alcohol-benzene extraction.

In Table 2, cell wall components of investigated species were presented. Concerning the pentosan content of woods, the hornbeam shows the highest amount while the percentage of this substance in beech and oak is quite close. The results of chemical analysis of beech and hornbeam woods also confirm the related data reported in the earlier works (TANK 1964, TANK 1978). Softwoods contain obviously less and around 8-9 percent pentosan than hardwoods, since arabinoxylans is not dominating polyoses in softwoods.

In Table 2 holocellulose yields in hardwoods are strikingly high signaling their high residual lignin content whereas those values are lower in softwoods. In order to check the possible losses of carbohydrates during delignification, the most susceptible polysaccharides i. e. xylanes, were taken into consideration and the pentosan content in hardwood holocelluloses was determined.

It can be seen easily from the results that either no-, or only negligible losses of pentosan occurred during delignification.

It is known that, comparing to softwoods, hardwoods yield lower Klason lignin and the related data in Table are in accordance with this fact.

Table 2 : Cell wall components of hardwoods and softwoods (based on oven-dry, extracted wood)

Table 2 : Yapraklı ve İğne Yapraklı Odunlarında Asıl Bileşenlerin Miktarı (eks. edilmiş, FK)

Species	Lignin (%)	Pentosan in wood (%)	Holocellulose (%)	Pentosan in Holo (%)	α -cellulose (%)
Hardwoods :					
<i>F. orientalis</i>	23.04	22.15	86.8	22.65	47.86
<i>C. betulus</i>	18.35	27.37	89.67	27.59	46.75
<i>Q. rubra H.</i>	23.3	22.15	85.2	22.33	50.4
<i>Q. rubra S.</i>	23.27	22.38	85.28	21.81	50.02
Softwoods :					
<i>P. orientalis</i>	26.08	9.24	81.48	nd	50.55
<i>A. equani</i>	28.49	8.17	79.12	nd	46.6
<i>P. brutia</i>	27.3	9.66	80.96	nd	49.98
<i>P. silyvestris</i>	28.0	7.92	80.57	nd	50.47

nd: not determined

The yields of Klason- and acid-soluble lignin in woods and holocelluloses, as well as calculated total lignin were given in Table 3.

Table 3 : Klason- and acid-soluble lignins in wood and holocellulose (based on extracted wood)

Table 3 : Odun ve Holoselulozlarda Klason ve Asitte Çözünür Lignin Değerleri

Species	WOOD			HOLOCELLULOSE		
	Klason (%)	Acid-soluble (%)	Total lignin (%)	Klason (%)	Acid-soluble (%)	Total lignin (%)
Hardwoods:						
<i>F. orientalis</i>	23.04	3.72	26.76	4.87	8.94	13.81
<i>C. betulus</i>	18.35	5.45	23.8	4.05	9.14	13.19
<i>Q. rubra H.</i>	23.3	3.17	26.47	4.43	8.09	12.52
<i>Q. rubra S.</i>	23.27	3.01	26.28	4.54	7.89	12.43
Softwoods:						
<i>P. orientalis</i>	26.08	0.3	26.38	4.6	5.18	9.78
<i>A. equani</i>	28.49	0.27	28.76	4.67	5.04	9.70
<i>P. brutia</i>	27.3	0.29	27.59	3.94	5.73	9.67
<i>P. silyvestris</i>	28.0	0.29	28.29	4.33	4.87	9.2

The results indicate that the total lignin values in hardwoods are particularly high due to high acid-soluble lignin content, whereas the total lignin in softwoods can be considered as practically acid insoluble. Total lignin contents of three hardwood samples are almost the same except *C. betulus* containing the lowest amount of Klason lignin. The literature survey shows that the amount of soluble lignin in softwoods is small (0.2 to 0.5%), but in hardwoods the acid-soluble lignin content can be approximately 3 to 5 % (LAI/SARKANEN 1971). The results in Table 3 are then in good agreement with these values.

Contrarily to the woods, amazingly great amount of soluble lignin is present in holocelluloses of both hardwoods and softwoods. Especially large amounts of total lignin retain in hardwood holocellulose, thus the dissolved lignin hardly exceeds 50 % of that found in original wood. In

softwoods however, the delignification seems to work better, since less total lignin remains in holocellulose. Approximately 65 % of original lignin is removed from softwood.

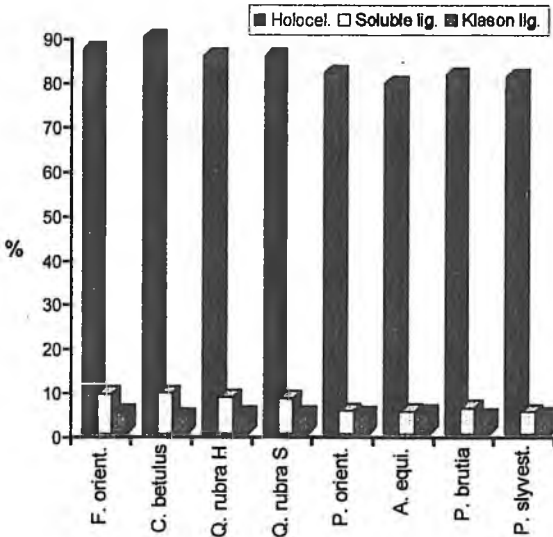
An additional comparison of soluble lignin contents would also be helpful, to recognize the degree of changes in lignin structure. In this context, the amount of soluble lignin in holocellulose became increased to threefold in case of hardwood and to twenty fold in softwood. Apparently the softwood lignin is affected more severely by delignifying agents.

On the other side the data in Table 3 indicate, that, if the acid soluble lignin is not considered in the summative analysis of wood, it would cause errors of up to 9%. The need is also emphasized, that both acid insoluble and acid-soluble lignin should be determined, to obtain true yields of components, which then would sum up close to 100 %.

Klason and acid-soluble lignin in holocelluloses were visualized in Figure 1. The ratio of acid-soluble lignin to klason is approximately 2 in case of hardwoods whereas this ratio in softwoods is nearly equal to 1. The higher quantity of acid-soluble lignin in holocelluloses of hardwoods could originate from the change of siringyl moiety structure during the hydrolysis with 72% H_2SO_4 (FENGEL/WEGENER 1984). As seen from Figure 1, the sum of acid-soluble and insoluble lignin comprises a significant percentage of holocellulose yields.

Figure 1 : The contents of holocellulose, klason and acid-soluble lignins in holocelloses

Şekil 1 : Holoselulözlerde Klason ve Asitte Çözünür Lignin Miktarları



By taking the acid soluble lignin in wood and holocellulose into account, true contents of both substances, i.e. lignin and holocellulose, were calculated and material balances were shown in Table 4.

Table 4 : Material balances of main components (all data are percent of extracted o.d. wood)
 Tablo 4 : Asıl Bileşenlerin Toplam Değerleri (ekst. edilmiş FK)

Species	Original Holocell. Yield	Total lignin in Holocell.	Corrected Holocel. Yield ①	Total lignin in wood ②	Total ①+②
Hardwoods:					
<i>F. orientalis</i>	86.8	13.81	72.99	26.76	99.75
<i>C. betulus</i>	89.67	13.19	76.48	23.8	100.28
<i>Q. rubra</i> - heart	85.2	12.52	72.68	26.47	99.15
<i>Q. rubra</i> - sap	85.28	12.43	72.85	26.28	99.13
Softwoods:					
<i>P. orientalis</i>	81.48	9.78	71.7	26.38	98.08
<i>A.equtrojani</i>	79.12	9.70	69.42	28.76	98.18
<i>P. brutia</i>	80.96	9.67	71.28	27.59	98.88
<i>P. sylvestris</i>	80.57	9.2	71.37	28.29	99.66

These results indicate that the corrected holocellulose yields of investigated woods are around 70 % except for *C. betulus*, which has high holocellulose level due to its high pentosan content.

Ideally, all summative calculations of holocellulose and lignin together should account 100% of the extractive-free, oven-dry weight of the wood. Small deficits are attributed to the losses during delignification as well as inherent errors in applied methods. In wood chemistry the material balances of 98-101 % are generally acceptable.

4. CONCLUSIONS

Results presented here indicate that differences in acid-soluble lignin content exist between softwoods and hardwoods as well as their holocelluloses. Considering acid soluble lignin the true yields of holocelluloses and lignins should be calculated for each sample.

The study demonstrates further that the summative analysis in investigated hardwoods and softwoods results in values of about 99%.

TÜRKİYE'DE YAYGIN OLARAK BULUNAN YAPRAKLI VE İĞNE YAPRAKLI AĞAÇ ODUNLARI ASIL BİLEŞENLERİNİN BİLANÇO ANALİZİ

Y. Doç. Dr. Mualla BALABAN

Kısa Özet

Bu araştırmada 4 iğne yapraklı ve 3 yapraklı ağaç türü kimyasal bileşim ve ekstraktif madde miktarları açısından incelenmiştir. Aynı zamanda, odun ve holoselulozlarda gerçekleştirilen asitte çözünür ve çözünmeyen lignin analizleri yardımı ile her bir türdeki gerçek holoseluloz ve lignin miktarları da hesaplanmıştır. Düzeltilmiş holoseluloz ve lignin miktarlarının toplanması ile elde edilen toplam verimler (Bilanço Analizi) her bir odun örneği için yaklaşık % 99 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, beklenildiği gibi, yapraklı ağaçlardaki asitte çözünür lignin miktarı iğne yapraklılara göre daha yüksek bulunmuştur. Benzer şekilde, yapraklı ağaç holoselulozlarında, iğne yapraklı ağaç holoselulozlarına göre daha yüksek miktarda asitte çözünür lignin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen verilerden, delignifikasyonun yapraklı ağaçlardaki lignini uzaklaştırmada yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.

1. GİRİŞ

Odun, günümüzde hala seluloz hamuru üretiminde kullanılan başlıca hammadde olma özelliğini korumaktadır. Bu nedenle bir çok ülke, özellikle kimyasal seluloz üretimi için seluloz oranı yüksek odunlara yönelmekte, kendi odun türünü kimya endüstrisinde daha etkin kullanmak için araştırmalara devam etmektedir.

Bugüne kadar ülkemizde bir çok yapraklı ve iğne yapraklı ağacın temel bileşenleri (seluloz, lignin, ve polyozlar) ve ekstraktif maddeleri araştırmacılar tarafından incelenmiştir (HAFIZOĞLU et al. 1997, BALABAN et al. 1999, TANK 1964, TANK 1978). Bu verilerin doğruluğunu kanıtlamak için çoğunlukla ana bileşenlerin toplamını almak en basit ve en kolay yoldur. Genellikle holoseluloz ve lignin miktarları kimyasal olarak türleri karakterize etmek için belirlenmek zorundadır. Bu değerlerin toplamı çoğunlukla yüzde yüzün üzerine değerler göstermekte %112'lere kadar çıkabilmektedir. Bunun nedeni, holoselulozda bulunan önemli miktardaki asitte çözünür ligninin, holoseluloz verimine katkıda bulunmasıdır. Holoselulozda ligninin kalması, seluloz, hemiseluloz ve lignin arasındaki olası kimyasal bağlarla açıklanmaktadır.

Asitte çözünür lignin az veya çok oranda hem yapraklı hem de iğne yapraklı odununda bulunmaktadır. Odundaki siringil birimleri miktarının artmasıyla asitte çözünür lignin miktarının arttığı MUSHA ve arkadaşları (1974) tarafından belirlenmiştir. Yapraklı ağaçlardaki asitte çözünür lignin miktarı yaklaşık olarak %3-5 oranında bulunmakta ve bu türlerde gerçek lignin miktarı, ancak klason lignini ile asitte çözünür ligninin toplanmasıyla hesaplanabilmektedir (MAEKAWA et al 1989, KAAR/BRINK 1991).

Çalışmanın amacı öncelikle, odunun kimyasal bileşiminin doğru olarak belirlenmesinde asitte çözünür lignin ile ilgili problemin önemini vurgulamak ve ortaya koymaktır. Daha sonra, bu problemi çözmek için standart hale gelmiş bir metodu Türkiye'deki bir çok yapraklı ve iğne yapraklı ağaç odununa uygulamak ve sonuçları tartışmaktır.

Araştırmada yapraklı ağaç olarak *Fagus orientalis*, *Quercus rubra* ve *Carpinus betulus*, iğne yapraklı ağaç olarak *Abies equi-trojani*, *Picea orientalis*, *Pinus slyvestris* ve *Pinus brutia* türleri odunları kullanılmıştır.

Odun örneklerinde, alkol-benzen ve alkol ekstraksiyonları, sıcak su ve %1'lik NaOH çözünürlükleri, holoseluloz, pentozan, alfa seluloz, kalıntı lignin ve çözünür lignin analizleri yapılmıştır.

Yapraklı ve iğne yapraklı odunlarına ait çözünürlük analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Genellikle iğne yapraklı odunlarının yapraklı odunlarına kıyasla daha düşük miktarda ekstraktif madde içerdiği belirlenmiştir. Yapraklı ağaçlar arasında *Quercus rubra* diri odununun en yüksek miktarda ekstraktif maddeye sahip olması, özellikle sıcak su ve %1 NaOH çözünürlüklerinin fazla olması meşe odunundaki yüksek tanen miktarının da bir göstergesidir.

İncelenen türlerin hücre çeperi bileşenlerinin miktarı Tablo 2'de verilmiştir. Pentozan miktarları karşılaştırıldığında, meşe ve kayın odunları birbirine oldukça yakın sonuçlar gösterirken, gürgen odununun belirgin ölçüde yüksek pentozan değeri dikkati çekmektedir. Kayın ve gürgen odunlarının kimyasal analiz sonuçları, daha önce başka araştırmacılar tarafından bildirilen değerlere yakındır (TANK 1964, TANK 1978). İğne yapraklı ağaçlarda pentozan miktarı yaklaşık %8-9 olarak belirlenmiştir. Yapraklı ağaç holoseluloz verimleri fazla miktarda kalıntı lignin içermeleri nedeniyle, iğne yapraklılara göre daha yüksek bulunmuştur.

Delignifikasyon sırasındaki karbonhidrat kaybını kontrol etmek için yapraklı ağaç holoselulozlarında pentozan analizleri yapılmış ve belli belirsiz bir kaybın olduğu belirlenmiştir.

Odun ve holoselulozlardaki Klason (kalıntı) ve asitte çözünür lignin analizleri Tablo 3'te verilmiştir. Yapraklı ağaçlardaki toplam lignin değerleri çözünür lignin analiz sonuçlarının eklenmesiyle artış gösterirken, iğne yapraklılardaki toplam ligninin pratik açıdan asitte çözünmez olduğu söylenebilir. Literatür araştırması, çözünür ligninin iğne yapraklılarda çok az olduğunu (%0.2-0.5), buna karşılık yapraklılarda oldukça fazla (%3-5) olduğunu göstermiştir. Tablo 3'deki verilen literatür değerleri ile uyum içinde olduğu görülmektedir.

Holoselulozlardaki çözünür lignin oranları hem yapraklı hem de iğne yapraklı örneklerinde oduna kıyasla oldukça yüksektir. Özellikle yapraklı ağaç holoselulozunda orijinal odundaki ligninin yaklaşık %50'si kalmakta, iğne yapraklı olması durumunda bu oran %35'e düşmektedir.

Böylece Tablo 3'de de görüldüğü gibi eğer asitte çözünür lignin miktarı toplam bilanço analizinde hesaba katılmazsa yaklaşık %9'luk bir hata ortaya çıkmaktadır. Holoselulozlardaki klason ve asitte çözünür lignin değerleri ayrıca Şekil 1'de gösterilmiştir.

Hem odun hem de holoselulozlar da asitte çözünür lignin değerlerinin hesaba katılmasıyla gerçek holoseluloz ve lignin değerlerinin toplamı yaklaşık %100 olarak belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 4'de görülmektedir. Odun kimyasında genellikle bu oranın %98-101 arasında olması kabul görmektedir.

Bu çalışma ile iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunları arasında çözünür lignin açısından önemli farklar olduğu, bunun yanı sıra holoselulozlarda çözünür ligninin oldukça fazla bulunduğu ortaya konmuştur. Standart koşullarda uygulanan delignifikasyon yönteminin özellikle yapraklı ağaç odunlarından holoselulöz elde etmede yetersiz kaldığı açıktır.

KAYNAKLAR

- BALABAN, M., YILGÖR, N., STROBEL, C. 1999: Chemical characteristics of endemic oak-wood *Quercus vulcanica* Boiss, Holz als Roh-und Werkstoff 57, 152-153,
- BROWNING, B.L. 1967: Methods of Wood Chemistry II Interscience Publishers, A Division of John Wiley and Sons New York, London, Sydney.
- DENCE, C.W. 1992: The Determination of Lignin In: Methods in Lignin Chemistry (Edited by S.Y. Lin and C.W. Dence) Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- FENGEL, D., WEGENER, G. 1984: Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. ISBN 3-11-008481-3. Walter de Gruyter Berlin New York,.
- HAFIZOĞLU, H., USTA, M., BİLGİN, Ö. 1997: Wood and Bark Composition of *Picea orientalis* Link Holzforschung, 51 114-118, .
- ISOGAI, A., ISHIZU, A., NAKANO, J. 1989: Residual Lignin and Hemicellulose in Wood Cellulose. Analysis Using New Permethylolation Method, Holzforschung (43) 333-338.
- KAAR, W., BRINK, D.L. 1991: Simplified analysis of Acid-Soluble Lignin, Journal of Wood Chemistry and Technology 11(4): 465-477.
- LAI, Y.Z., SARKANEN, K.V. 1971: Isolation and structural studies. In: Sarkanen KV Ludwig CH(Eds) Lignins. Occurrence, formation, structure and reactions. Wiley-Interscience, New York, 190-195.
- MAEKAWA, E., ICHIZAWA, T., KOSHIJIMO, T. 1989: An evaluation of the Acid-soluble lignin determination in Analyses of Lignin by the Sulfuric Acid Method Journal of Wood Chemistry and Technology 9(4): 549-567.
- MUSHA, Y., GORING, D.A. 1974: Klason and Acid-soluble Lignin Content of Hardwoods. Wood Sci. (7): 133-134.
- TANK, T. 1964: Türkiye Gökmar Türlerinin Kimyasal Bileşimleri ve Selüloz Endüstrisinde Değerlendirme İmkanları, Orman Fakültesi Dergisi, Seri: A, Cilt XVII, Sayı: 2.
- TANK, T. 1978: Türkiye Kayın ve Gürgen Türlerinin Nötral ve Sülfat Yarı Kimyasal (NSSC) Metodu ile Değerlendirilme İmkanları, İ.Ü. Yayın No:2326, Or. F. Yayın No:231.
- WISE, L.E., MURPHY, M., D'ADDIECO, A.A. 1946: Pap. Trade J. 122(2) 35-43
- YALTIRIK, F. 1988: Dendroloji Ders Kitabı I Gymnospermae (Açık Tohumlular). İ.Ü. Yayın No: 3443, O.F. Yayın No: 386, İstanbul.
- YALTIRIK, F., EFE, A. 1994: Dendroloji Ders Kitabı Gymnospermae-Angiospermae, İ.Ü. Yayın No:3836, O.F. Yayın No:431, ISBN 975-404-363-9, İstanbul.